

**ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES ESTRUCTURALES DEL CONCRETO
MODIFICADO CON LA FIBRA DE BAGAZO DE CAÑA**

PRESENTADO POR:

LIZETH YURIANA HUERTAS ALARCÓN CÓDIGO: 505758

PAOLA ANDREA MARTINEZ CELIS CÓDIGO: 505856

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ, D. C.**

2019
**ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES ESTRUCTURALES DEL CONCRETO
MODIFICADO CON LA FIBRA DE BAGAZO DE CAÑA**

PRESENTADO POR:
LIZETH YURIANA HUERTAS ALARCÓN CÓDIGO: 505758
PAOLA ANDREA MARTINEZ CELIS CÓDIGO: 505856

Trabajo de grado

Docente Asesor:
MBA MSc. Martín Eduardo Espitia Nery

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

BOGOTÁ, D. C.
2019



La presente obra está bajo una licencia:
Atribución 2.5 Colombia (CC BY 2.5)
Para leer el texto completo de la licencia, visita:
<http://creativecommons.org/licenses/by/2.5/co/>

Usted es libre de:

- Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra
- hacer obras derivadas
- hacer un uso comercial de esta obra



Bajo las condiciones siguientes:



Atribución — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

DEDICATORIA

Los autores dedican este trabajo a:

A Dios, que nos brindó la sabiduría y perseverancia en este proceso.

A nuestras familias, por la paciencia, la dedicación, la compañía y el gran apoyo incondicional que nos brindaron.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a:

Al MBA MSc. Martín Eduardo Espitia Nery, por su asesoría y dirección para el desarrollo y culminación del trabajo de grado ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES ESTRUCTURALES DEL CONCRETO MODIFICADO CON LA FIBRA DE BAGAZO DE CAÑA.

A la Universidad de los Andes por brindar el espacio en los laboratorios de Microscopía Electrónica de Barrido.

A Yohan y Miguel por la colaboración y por el apoyo moral que nos brindaron a lo largo de esta etapa de nuestras vidas.

TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE TABLAS	9
LISTA DE ILUSTRACIONES	12
INTRODUCCIÓN	13
ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN	15
DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	17
OBJETIVOS.....	18
OBJETIVO GENERAL	18
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
1. MARCO REFERENCIAL.....	19
1.1. MARCO TEÓRICO.....	19
1.1.1. CAÑA DE AZÚCAR	20
1.1.2. CONCRETO HIDRÁULICO	23
1.1.3. CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES.....	35
1.2. ESTADO DEL ARTE	39
1.3. MARCO CONCEPTUAL.....	60
2. DISEÑO METODOLÓGICO.....	66
2.1. CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE LOS MATERIALES	68
2.1.1. PROCEDENCIA DEL AGREGADO.....	68
2.1.2. AGREGADO GRUESO.....	69
2.1.3. AGREGADO FINO.....	69
2.1.4. CEMENTO.....	70
2.1.5. PROCEDENCIA DEL BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR	70
2.2. DISEÑO DE MEZCLA	71
2.2.1. PROPORCIONES EN VOLUMEN SUELTO PARA CONCRETOS	71
2.2.2. CANTIDADES DE MATERIAL.....	73

2.2.3. DOSIFICACIÓN DEL AGUA	74
2.2.4. DOSIFICACIÓN DEL ADITIVO.....	74
2.3. ELABORACIÓN DE CILINDROS	74
2.3.1. ELABORACIÓN DE CILINDROS Y CURADO.....	74
2.3.2. ASENTAMIENTO.....	75
2.4. CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE LOS CILINDROS.....	75
2.5. MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO (SEM)	75
3. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	77
3.1. CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE LOS MATERIALES	77
3.1.1. AGREGADO GRUESO.....	77
3.1.2. AGREGADO FINO.....	78
3.1.3. CEMENTO	80
3.2. DISEÑO DE MEZCLA	80
3.3. ELABORACIÓN DE CILINDROS	82
3.3.1. ELABORACIÓN DE CILINDROS Y CURADO.....	82
3.3.2. ASENTAMIENTO.....	83
3.4. CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE LOS CILINDROS.....	84
3.5. MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO (SEM)	86
CONCLUSIONES	94
RECOMENDACIONES	95
BIBLIOGRAFÍA.....	96
ANEXOS.....	106
ANEXO A. CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE AGREGADO GRUESO.....	106
1. DENSIDAD Y ABSORCIÓN DE AGREGADO	106
ANEXO B. CARACTERIZACIÓN FÍSICA DEL AGREGADO FINO.....	109
1. DENSIDAD Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO	109
ANEXO C. CARACTERIZACIÓN FÍSICA DEL CEMENTO.....	112
1. DENSIDAD DEL CEMENTO	112
ANEXO D. ELABORACIÓN DE CILINDROS	114
ANEXO E. CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE LOS CILINDROS.....	115
1. MUESTRA PATRÓN	115

- 2. MUESTRA CON 0,4% DE FIBRA DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR 119
- 3. MUESTRA CON 0,6% DE FIBRA DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR 124
- 4. MUESTRA CON 0,8% DE FIBRA DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR 128

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Promedio de la composición química de los tallos y de los jugos de la caña de azúcar.	22
Tabla 2. Composición morfológica del bagazo.	23
Tabla 3. Compuestos del cemento.	24
Tabla 4. Clasificación de las rocas ígneas según la profundidad y velocidad de consolidación.	26
Tabla 5. Propiedades físico mecánicas.	26
Tabla 6. Principales rocas y sus características como materiales de construcción.	27
Tabla 7. Clasificación general del agregado según su tamaño.	28
Tabla 8. Clasificación del agregado según su densidad.	29
Tabla 9. Asentamientos en concreto.	31
Tabla 10. Dosificación para 1 m ³ de concreto.	33
Tabla 11. Elaboración y curado de cilindros.	35
Tabla 12. Asentamiento.	35
Tabla 13. Densidad y absorción agregado grueso.	36
Tabla 14. Densidad y absorción agregado fino.	36
Tabla 15. Densidad del cemento hidráulico.	37
Tabla 16. Resistencia a la compresión cilindros de concreto.	37
Tabla 17. Diseño metodológico.	67
Tabla 18. Cantidades de material estimadas por metro cúbico de concreto y resistencias probables obtenidas.	73
Tabla 19. Resultados densidad y absorción agregado grueso.	77
Tabla 20. Granulometría del agregado grueso.	78
Tabla 21. Resultados densidad y absorción agregado fino.	79
Tabla 22. Granulometría del agregado fino.	79
Tabla 23. Diseño de mezcla para muestra patrón.	81
Tabla 24. Diseño de mezcla para muestra con 0,4% de fibra.	81
Tabla 25. Diseño de mezcla para muestra con 0,6% de fibra.	82
Tabla 26. Diseño de mezcla para muestra con 0,8% de fibra.	82
Tabla 27. Asentamientos.	83
Tabla 28. Resistencia a la compresión de la muestra patrón.	84
Tabla 29. Resistencia a la compresión de la muestra con 0,4% de fibra.	84
Tabla 30. Resistencia a la compresión de la muestra con 0,6% de fibra.	85

Tabla 31. Resistencia a la compresión de la muestra con 0,8 de fibra.	85
Tabla 32. Muestra patrón del cilindro número 1 con 7 días de edad.	115
Tabla 33. Muestra patrón del cilindro número 2 con 7 días de edad.	116
Tabla 34. Muestra patrón del cilindro número 3 con 7 días de edad.	116
Tabla 35. Muestra patrón del cilindro número 1 con 14 días de edad.	117
Tabla 36. Muestra patrón del cilindro número 2 con 14 días de edad.	117
Tabla 37. Muestra patrón del cilindro número 3 con 14 días de edad.	118
Tabla 38. Muestra patrón del cilindro número 1 con 28 días de edad.	118
Tabla 39. Muestra patrón del cilindro número 2 con 28 días de edad.	119
Tabla 40. Muestra patrón del cilindro número 3 con 28 días de edad.	119
Tabla 41. Muestra con 0,4% de fibra del cilindro número 1 con 7 días de edad. .	120
Tabla 42. Muestra con 0,4% de fibra del cilindro número 2 con 7 días de edad. .	120
Tabla 43. Muestra con 0,4% de fibra del cilindro número 3 con 7 días de edad. .	121
Tabla 44. Muestra con 0,4% de fibra del cilindro número 1 con 14 días de edad.	121
Tabla 45. Muestra con 0,4% de fibra del cilindro número 2 con 14 días de edad.	122
Tabla 46. Muestra con 0,4% de fibra del cilindro número 3 con 14 días de edad.	122
Tabla 47. Muestra con 0,4% de fibra del cilindro número 1 con 28 días de edad.	123
Tabla 48. Muestra con 0,4% de fibra del cilindro número 2 con 28 días de edad.	123
Tabla 49. Muestra con 0,4% de fibra del cilindro número 3 con 28 días de edad.	124
Tabla 50. Muestra con 0,6% de fibra del cilindro número 1 con 7 días de edad. .	124
Tabla 51. Muestra con 0,6% de fibra del cilindro número 2 con 7 días de edad. .	125
Tabla 52. Muestra con 0,6% de fibra del cilindro número 3 con 7 días de edad. .	125
Tabla 53. Muestra con 0,6% de fibra del cilindro número 1 con 14 días de edad.	126
Tabla 54. Muestra con 0,6% de fibra del cilindro número 2 con 14 días de edad.	126
Tabla 55. Muestra con 0,6% de fibra del cilindro número 3 con 14 días de edad.	127
Tabla 56. Muestra con 0,6% de fibra del cilindro número 1 con 28 días de edad.	127
Tabla 57. Muestra con 0,6% de fibra del cilindro número 2 con 28 días de edad.	128
Tabla 58. Muestra con 0,6% de fibra del cilindro número 3 con 28 días de edad.	128
Tabla 59. Muestra con 0,8% de fibra del cilindro número 1 con 7 días de edad. .	129

Tabla 60. Muestra con 0,8% de fibra del cilindro número 2 con 7 días de edad..	129
Tabla 61. Muestra con 0,8% de fibra del cilindro número 3 con 7 días de edad..	130
Tabla 62. Muestra con 0,8% de fibra del cilindro número 1 con 14 días de edad.	130
Tabla 63. Muestra con 0,8% de fibra del cilindro número 2 con 14 días de edad.	131
Tabla 64. Muestra con 0,8% de fibra del cilindro número 3 con 14 días de edad.	131
Tabla 65. Muestra con 0,8% de fibra del cilindro número 1 con 28 días de edad.	132
Tabla 66. Muestra con 0,8% de fibra del cilindro número 2 con 28 días de edad.	132
Tabla 67. Muestra con 0,8% de fibra del cilindro número 3 con 28 días de edad.	133

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Marco teórico.....	20
Ilustración 2. Características de calidad de la caña de azúcar.	21
Ilustración 3. Ciclo geológico de las rocas.	25
Ilustración 4. Ubicación de la planta de producción Concescol S.A.	68
Ilustración 5. Procedencia de bagazo de caña de azúcar.....	71
Ilustración 6. Proporciones en volumen suelto más empleadas.	72
Ilustración 7. Curva granulométrica del agregado grueso.....	78
Ilustración 8. Curva granulométrica del agregado fino.....	80
Ilustración 9. Cilindros.....	83
Ilustración 10. Carga máxima (PSI) Vs Edad (días).....	86
Ilustración 11. SEM concreto muestra patrón.	87
Ilustración 12. SEM concreto muestra A con 0,4 % de fibra.	88
Ilustración 13. SEM concreto muestra B con 0,4 % de fibra.	89
Ilustración 14. SEM concreto muestra A con 0,6 % de fibra.	90
Ilustración 15. SEM concreto muestra B con 0,6 % de fibra.	91
Ilustración 16. SEM concreto muestra A con 0,8% de fibra.	92
Ilustración 17. SEM concreto muestra B con 0,8 % de fibra.	93
Ilustración 18. Ensayo de densidad y absorción de agregado grueso.	106
Ilustración 19. Ensayo de densidad y absorción de agregado fino.	109
Ilustración 20. Ensayo de densidad del cemento.....	112
Ilustración 21. Elaboración de cilindros 1.....	114
Ilustración 22. Elaboración de cilindros 2.....	115

INTRODUCCIÓN

Actualmente en la ingeniería se ha tenido un gran avance en el desarrollo de los materiales para la construcción, al igual que en la tecnología para producirlos, donde se busca obtener materiales más sostenibles y eficientes. “En general, la actividad de la construcción está en una evolución continua que, a veces, se puede percibir lenta, pero sin duda es una evolución constante”¹. Sin embargo, en Colombia se tiene una gran deficiencia con respecto a la construcción. García (2018)² afirma: “En Colombia existen muchas estructuras a punto de desplomarse; la calidad de las construcciones en cuanto a sus diseños, materiales y sus sistemas constructivos es deficiente e inadecuada”. Por consiguiente, es necesario implementar mejoras a nivel constructivo, donde una opción es la innovación de los materiales para la construcción, para así obtener construcciones tanto eficientes como sostenibles.

La construcción sostenible es aquella que implica el uso eficiente de los recursos y materiales no perjudiciales para el medioambiente, resulta más saludable y se dirige hacia una reducción de los impactos ambientales³. Hoy en día este concepto es relevante en Colombia, ya que se genera la necesidad de mitigar el impacto que se ha producido en el medio ambiente, por parte de la industria de la construcción. Por lo cual, se busca la aplicación de materiales alternativos tanto naturales como reciclados, donde, una opción como material alternativo corresponde al concreto reforzado con fibras. La incorporación de fibras de acero, plásticas, cerámicas y naturales ha demostrado ser un medio eficaz para mejorar la tenacidad del material, aumentar la resistencia del concreto y su capacidad de deformación, además de controlar el desarrollo y la propagación de fisuras⁴.

El bagazo de caña es un residuo fibroso que se adquiere al triturar y apisonar la caña de azúcar en los molinos para extraerle el jugo, que presenta relativamente baja densidad y un alto contenido de humedad. De acuerdo con los trabajos previos efectuados en el Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral

¹ García, O. Calidad e innovación en la construcción es imprescindible para Colombia. (I. d. IEU, Ed.) Colombia [online]. 08 de Mayo de 2018. Disponible en internet: <http://ie.u.unal.edu.co/noticias-del-ieu/item/calidad-e-innovacion-en-la-construccion-es-imprescindible-para-colombia>

² Ibíd.

³ Ramírez, A. La construcción sostenible [online]. En: Física y Sociedad. 2008. vol. 13, p. 30-33. Disponible en internet: https://www.cofis.es/pdf/fys/fys13/fys13_30-33.pdf

⁴ España, C., & Molina, L. Evaluación de la resistencia de una mezcla de concreto al adicionarle fibra natural tipo bagazo de caña. Trabajo de grado para optar el título de Ingeniero Civil. San Juan de Pasto: Universidad de Nariño. 2013. 95 p.

Regional (CIIDIR), Unidad Oaxaca, se sustituyó parcialmente al cemento con el bagazo con lo que se concluyó: “La ceniza de bagazo de caña parece ser una opción factible para la elaboración de una gran variedad de materiales que se utilizan en la industria de la construcción. Por ello se requiere continuar con investigaciones tendientes a dilucidar su potencial como sustituto parcial o total del cemento Portland”⁵.

Con este trabajo se pretende analizar el comportamiento mecánico del concreto con la incorporación de fibra de bagazo de caña. Para lo cual, se realizó un diseño de mezcla para una muestra patrón y para los porcentajes de adición de fibra del 0.4%, 0.6% y 0.8%. Los porcentajes fueron elegidos tomando en cuenta los artículos previamente consultados, en los cuales se recomendó que para estudios futuros la mezcla fuera realizada con un rango de adición menor al 2%, ya que al utilizar valores mayores a este porcentaje se tiene una disminución en la resistencia a compresión del concreto.

⁵ Agencia Iberoamericana para la difusión de la ciencia y la tecnología. Bagazo de caña, posible componente de concreto hidráulico [online]. Mexico. 13 de Febrero de 2014. Disponible en internet: <http://www.dicyt.com/noticias/bagazo-de-cana-posible-componente-de-concreto-hidraulico>

ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN

Antes de Cristo, los romanos crearon el concreto liviano, el cual fue empleado alrededor de 800 años. Después de Cristo, los normandos en Gran Bretaña diseñaron la primera mezcladora de concreto (700 D.C.). Usaban la caliza como agregado y la cal calcinada como aglutinante. Poco después de la obtención de la patente del cemento Portland por parte de Joseph Aspdin (1824) se desarrolló el concreto como material de construcción. Durante el siglo XX el uso de la relación agua/cemento y el aumento de la durabilidad con la inclusión de aire, contrastaron dos significativos avances en la tecnología del concreto. El empleo del concreto armado inició en 1906. En Colombia la elaboración, venta y distribución de concretos y los productos derivados de él, los realiza la empresa Concretos Premezclados, desde 1975⁶.

En 1905, Industrias e Inversiones Samper inauguró la primera planta cementera en nuestro país y comenzó operaciones hasta 1909, dicha planta estaba ubicada en las cercanías de la capital de Colombia. A lo largo de los 30 años siguientes entraron al mercado Cementos Diamante (Cundinamarca) y Cementos Argos (Antioquia). Posteriormente en los años 40 se fundaron fábricas en Valle del Cauca (Cementos del Valle), Santander (Cementos Diamante), Magdalena (Cementos Nare), y Costa Atlántica (Cementos Caribe). Hoy en día, existen tres claros jugadores en la industria, CEMEX (el cual adquirió Cementos Diamante y Samper), Grupo ARGOS (su grupo consta de Cementos Argos, Cementos El Cairo, Cementos Caribe, Cementos Paz del Río, Cementos Nare, Cementos Río claro, Tol cemento, Cementos Andino, Concrecem y Cementos del valle), y El Grupo HOLCIM (propietario de Cementos Boyacá)⁷.

En Colombia la producción de caña de azúcar es de 21,56 millones de toneladas de los cuales solo 2,12 millones de toneladas son azúcar y el resto corresponde a bagazo⁸, por lo tanto, es un residuo agrícola de fácil acceso y que gracias a sus propiedades químicas puede brindar una resistencia optima al ser adicionado en una mezcla de concreto. Al realizar esta mezcla se reduce en contenido de cemento y a su vez el impacto ambiental que es producido por el uso y elaboración constante del mismo, es por esto que se han venido buscando alternativas que reduzcan la huella ecológica que tiene materiales de construcción como lo es el concreto.

⁶ CONSTRUDATA. Historia del concreto. Capítulo 5.

⁷ LATORRE CAÑÓN, A., DELRIEU ALCARAZ, J. C., & RODRIGUEZ SANMIGUEL, N. La industria del cemento en colombia determinantes y comportamiento de la demanda. Bogotá, Colombia: Pontificia Universidad Javeriana. 2008. 53 p.

⁸ Asocala. El Sector Azucarero Colombiano En La Actualidad. [online]. 2017. Disponible en internet: <http://www.asocana.org/publico/info.aspx?Cid=215>

La búsqueda de mezclas con materiales alternativos para concreto está justificada por muchas razones. Los concretos de alta resistencia con dichas composiciones, permiten una reducción del peso de la estructura y al mismo tiempo mejoran su durabilidad⁹.

Este proyecto está centrado en contribuir con el estudio del comportamiento mecánico del concreto mediante la adición de diferentes porcentajes de una fibra natural (bagazo de caña de azúcar). De esta manera, se pueden generar impactos positivos en el medio ambiente, al ser un material reciclado, y en el sector económico por su bajo costo. Trayendo consigo, progresos en la industria de la construcción.

⁹ Espinoza Carvajal, M. J. Comportamiento mecánico del concreto reforzado con fibra de bagazo de caña de azúcar. Tesis para optar el título de maestría. Cuenca: Universidad de Cuenca. 2015. 189 p.

DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Las edificaciones ya construidas, siguen siendo una causa de contaminación directa por ser productoras de emisiones que ocasionan un impacto directo sobre el territorio, y una fuente indirecta de consumo de energía y agua que son necesarios para su adecuado funcionamiento. Es por esto, que se genera la necesidad de analizar alternativas que permita bajar los efectos perjudiciales de esta actividad humana cada vez mayor¹⁰.

La problemática del presente proyecto radica en mejorar las características mecánicas del concreto, mediante la incorporación de un material alternativo que disminuya el impacto ambiental. La fibra de bagazo caña fue seleccionada ya que, siendo un residuo abundante en Colombia es de fácil acceso, por ello se busca dar respuesta a la siguiente pregunta: ¿Se pueden mejorar las características mecánicas del concreto con la fibra de bagazo de caña como aditivo?

¹⁰ Espinoza Carvajal, M. J. Comportamiento mecánico del concreto reforzado con fibra de bagazo de caña de azúcar. Tesis para optar el título de maestría. Cuenca: Universidad de Cuenca. 2015. 189 p.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Analizar el comportamiento mecánico del concreto con adición de fibra de bagazo de caña.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Investigar de forma detallada el uso que se la ha dado al bagazo de caña como material de construcción.
- Elaborar el diseño de mezcla con diferentes porcentajes de fibra de bagazo de caña y muestra patrón.
- Realizar ensayos de resistencia mecánica y caracterización de los respectivos cilindros de concreto.
- Evaluar el comportamiento que presentan las diferentes probetas con adición de fibra de bagazo de caña de azúcar frente a la muestra sin contenido de fibra.

1. MARCO REFERENCIAL

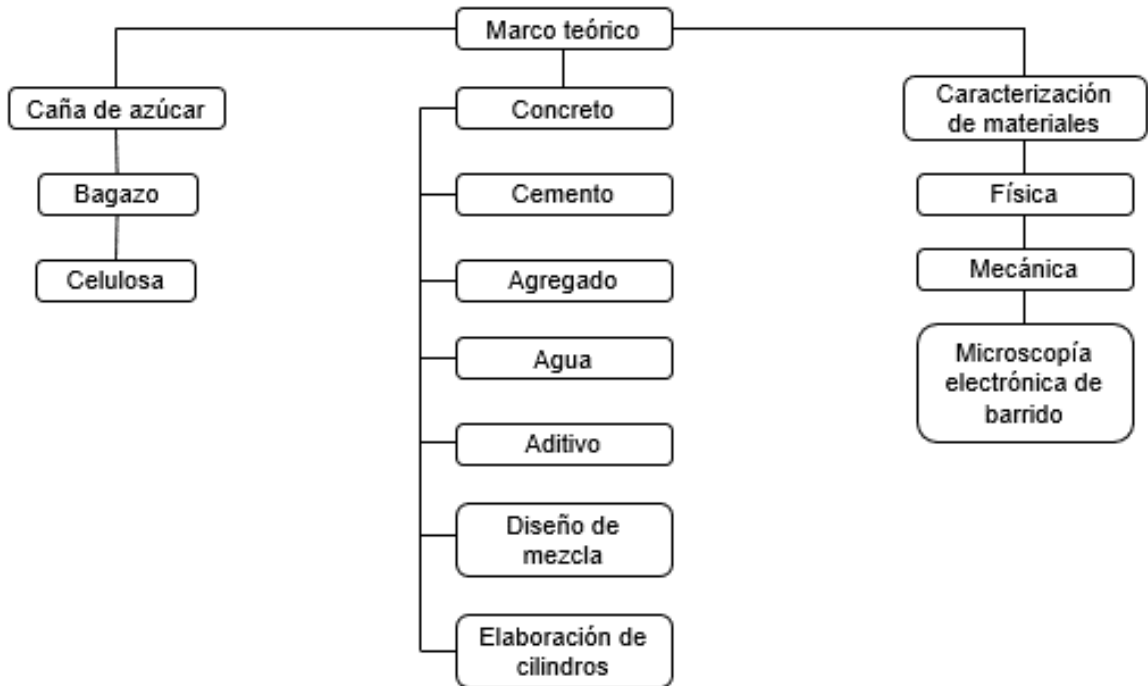
Este capítulo detalla los conceptos y características de las materias primas tomadas como base para el desarrollo del presente trabajo de investigación. De igual modo, se exponen detalladamente cuatro métodos para llevar a cabo el diseño de mezcla y se establecen las normas que se tendrán en cuenta para la caracterización de las materias primas. En seguida se presenta un resumen de las investigaciones previas relacionadas al tema de investigación de este trabajo. Por último, se podrá encontrar las definiciones más relevantes.

1.1. MARCO TEÓRICO

El concreto es un material artificial compuesto, el cual consiste en un medio ligante, denominado pasta, dentro del que se encuentra embebidas partículas de un medio denominado agregado. La pasta es el resultado de la combinación química del cemento y el agua, mientras que el agregado es la fase discontinua del concreto, dado que sus diversas partículas no están unidas o en contacto unas con otras, sino que se encuentran separadas por espesores diferentes de pasta endurecida. Las propiedades del concreto están determinadas fundamentalmente por las características físicas y químicas de sus componentes, las cuales pueden ser mejor comprendidas si se analiza la naturaleza del concreto¹¹. En la ilustración 1 marco teórico, se muestra la organización que se tuvo en cuenta en para la teoría.

¹¹ Civilgeeks Ingeniería y construcción. Naturaleza del concreto [online]. Diciembre, 2011. Disponible en internet: <https://civilgeeks.com/2011/12/04/naturaleza-del-concreto/>

Ilustración 1. Marco teórico.



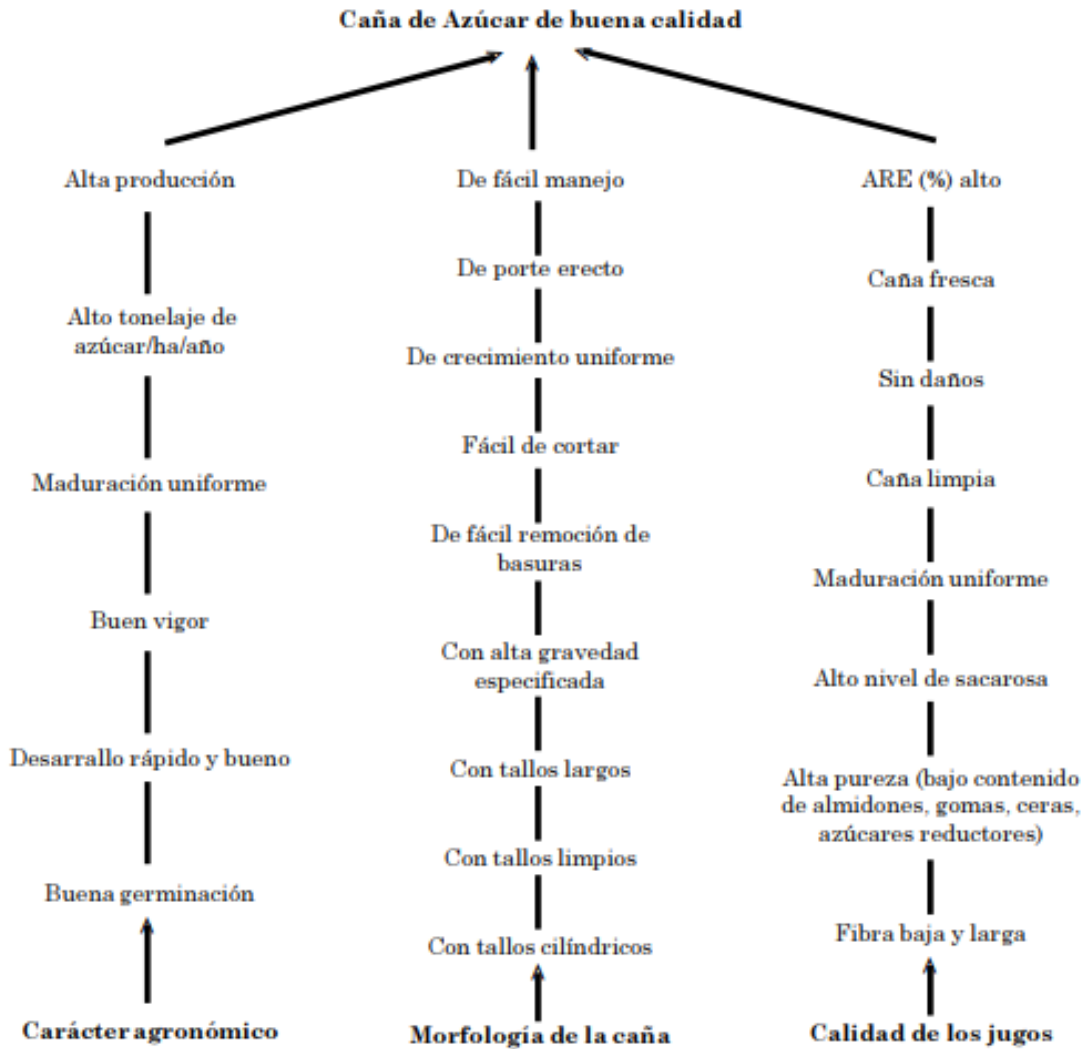
Fuente: Autores.

1.1.1. CAÑA DE AZÚCAR

La caña de azúcar es una planta que hace parte de la familia de las poáceas, cuyo nombre científico es *Saccharum officinarum* y se encuentra constituida por jugo y fibra básicamente. La parte de la fibra no es soluble en agua y está conformada por celulosa de azúcares sencillos glucosa (dextrosa). Ver la ilustración que se encuentra en seguida, en la cual se encuentra un resumen detallado de las características de la caña de azúcar para que se encuentre en condiciones de calidad de acuerdo a la morfología, calidad de los jugos y el carácter agronómico. La calidad de la caña está ligada principalmente a los altos niveles de sacarosa y otros constituyentes químicos orgánicos¹².

¹² Larrahondo, J. E. Calidad de la Caña de Azúcar [online]. 2008. Disponible en internet:
http://www.cenicana.org/pdf/documentos_no_seriadados/libro_el_cultivo_cana/libro_p337-354.pdf

Ilustración 2. Características de calidad de la caña de azúcar.



Fuente: Larrahondo, J. E. Calidad de la Caña de Azúcar.

El jugo en la caña está constituido entre el 73% a 76%, los sólidos solubles de 10% a 16% y la fibra de caña varía entre 11% a 16%, según la tabla que se encuentra a continuación.

Tabla 1. Promedio de la composición química de los tallos y de los jugos de la caña de azúcar.

Constituyente químico	Porcentaje
En los tallos:	
Agua	73 - 76
Sólidos	24 - 27
- sólidos solubles (brix)	10 - 16
- fibra (seca)	11 - 16
En el jugo:	
Azúcares	
- sacarosa	75 - 92
- glucosa	70 - 88
- fructuosa	2 - 4
Sales	
- inorgánicas	3 - 3,4
- orgánicas	1.5 - 4.5
Ácidos orgánicos	1 - 3
Aminoácidos	1.5 - 2.5
Otros no azúcares	
- proteína	0.5 - 0.6
- almidones	0.001 - 0.05
- gomas	0.3 - 0.6
- ceras, grasas, etc.	0.15 - 0.50
- compuestos fenólicos	0.10 - 0.80

Fuente: Larrahondo, J. E. Calidad de la Caña de Azúcar.

1.1.1.1. BAGAZO

El bagazo de caña es un residuo lignocelulósico proveniente del tallo de la planta y obtenido a partir de la extracción del jugo que se le realiza a la caña, este posee gran cantidad de fibras y constituye el 28% del peso total de la caña. El bagazo está conformado principalmente por la fibra (estructura cristalina) la cual genera rigidez y el parénquima de estructura amorfa la cual posee una alta absorción¹³. La descripción porcentual de la morfológica de bagazo se muestra en siguiente tabla:

¹³ Olmo, O. A. El bagazo de la caña de azúcar. Propiedades, constitución y potencial [online]. 2013. Disponible en internet: http://karin.fq.uh.cu/acc/2016/CIENCIAS_TECNICAS/032/New/Documentaci%C3%B3n/Parte%20V/Parte%20V.pdf

Tabla 2. Composición morfológica del bagazo.

Componentes	Proporción %
Fibras	50
Parénquima	30
Vasos	15
Epidermis	5

Fuente: Olmo, O. A. El bagazo de la caña de azúcar. Propiedades, constitución y potencial.

1.1.1.2. CELULOSA

La celulosa es un homo-polímero lineal el cual tiene una agrupación de D-glucosa interceptados por enlaces de tipo B-1,4 gluco-sídico con un elevado peso molecular. el enlace de la molécula es de forma estabilizada y lineal debido a que se forma gran cantidad de puentes de hidrogeno intermoleculares e intramoleculares, estas formaciones se dan porque en las zonas amorfas se establece hemicelulosa y espacios vacíos los cuales permiten la cabida del agua (H₂O), es por esto que se une la celulosa por medio de los puentes de hidrogeno¹⁴.

1.1.2. CONCRETO HIDRÁULICO

También recibe el nombre de hormigón, el cual consiste en una mezcla de agua, agregado grueso, agregado fino, cemento y según sea el caso un aditivo, esta mezcla se caracteriza por ser homogénea. El concreto es una roca artificial fabricada por el hombre que presenta una alta resistencia a la compresión y baja resistencia a la tracción por ello se debe reforzar con acero.

1.1.2.1. CEMENTO

El cemento es el ingrediente principal del concreto premezclado. El cemento es un polvo fino que se obtiene de la calcinación a 1,450°C de una mezcla de piedra caliza, arcilla y mineral de hierro. El producto del proceso de calcinación es el Clinker, principal ingrediente del cemento, que se muele finamente con yeso y otros

¹⁴ Porras, María Eugenia. Evaluación de la incorporación de celulosa de bagazo de caña en la síntesis de espumas de poliuretano. Trabajo de grado para optar el título de Ingeniero Químico. Medellín: Universidad pontificia bolivariana. Escuela de ingenierías. Facultad de ingeniería química, 2013. 24 p.

aditivos químicos para producir cemento¹⁵. Cabe resaltar los principales componentes del cemento portland como la cal (CaO), sílice (SiO₂), alúmina (Al₂O₃) y óxido de hierro (Fe₂O₃). En la siguiente tabla se pueden distinguir otros de los compuestos del cemento¹⁶.

Tabla 3. Compuestos del cemento.

Nombre del compuesto	Fórmula química	Abreviatura
A) Silicato tricálcico	3 CaO.SiO ₂	C ₃ S
B) Silicato dicálcico	2 CaO.SiO ₂	C ₂ S
C) Aluminato tricálcico	3 CaO.Al ₂ O ₃	C ₃ A
D) Ferroatuminato tetracálcico	4 CaOAl ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃	C ₄ AF
E) Yeso natural	CaSO ₄ .2H ₂ O	
F) Óxidos menores de Ca, Mg, Na, K, Mn, Ti, P, Fe		

Fuente: LÓPEZ, L. G. El concreto y otros materiales.

1.1.2.2. AGREGADO

El volumen que ocupan los agregados en el concreto hidráulico se encuentra entre 65% a 85%, los cuales tienen procedencia de rocas y son fragmentados ya sea de forma natural (por factores ambientales) o artificial (como en las canteras, proceso mecánico). El agregado grueso se caracteriza por que queda retenido en el tamiz N° 4 y en el caso del agregado fino pasa el tamiz N° 4 pero queda retenido en el N° 200¹⁷.

Debido a la procedencia variada y la importancia de las características físico mecánicas del agregado se realizará una descripción del origen y su formación, en la figura se muestra el ciclo geológico de las rocas, el cual inicia con las rocas originales o ígneas en un proceso en el interior de la tierra, cuando el magma se combina con diferentes silicatos y pasa a un estado sólido, luego estas rocas al entrar en contacto con fenómenos ambientales como el intemperismo y tiempo,

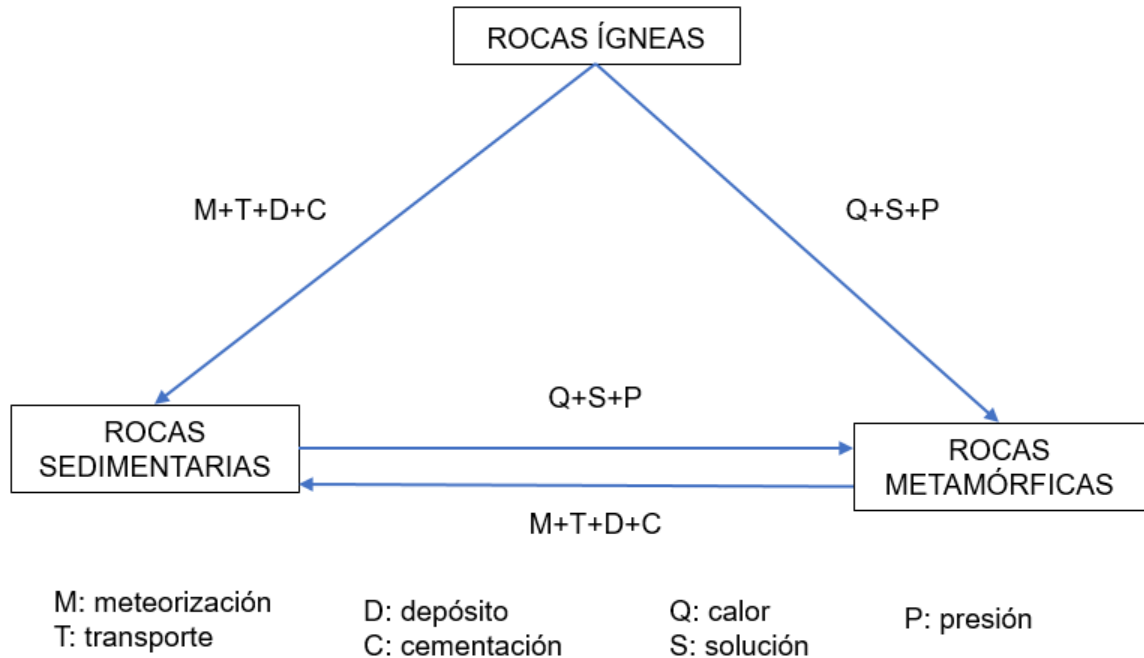
¹⁵ Cemex. (2017). Cemex. Productos, cemento [online]. Disponible en internet: <https://www.cemex.com/es/productos-servicios/productos/cemento>

¹⁶ LÓPEZ, L. G. El concreto y otros materiales. Manizales: Universidad Nacional de Colombia. Marzo, 2003. 28 p.

¹⁷ LÓPEZ, L. G. El concreto y otros materiales. Manizales: Universidad Nacional de Colombia. Marzo, 2003. 28 p.

pasan a ser rocas sedimentarias, finalmente se forman las rocas metamórficas por un proceso de presión y calor en las rocas ígneas y sedimentarias¹⁸.

Ilustración 3. Ciclo geológico de las rocas.



Fuente: LÓPEZ, L. G. El concreto y otros materiales.

Rocas ígneas

Las rocas ígneas conforman gran parte de la corteza terrestre y de otros tipos de rocas por ello se llaman rocas originales, la clasificación de las rocas ígneas varía de acuerdo con la rapidez en que se enfría el magma (determina la textura de la roca) y la profundidad con la que se solidifican en el interior de la tierra¹⁹, como se muestra en la siguiente tabla:

¹⁸ LÓPEZ, L. G. El concreto y otros materiales. Manizales: Universidad Nacional de Colombia. Marzo, 2003. 10 p.

¹⁹ LÓPEZ, L. G. El concreto y otros materiales. Manizales: Universidad Nacional de Colombia. Marzo, 2003. 10 p.

Tabla 4. Clasificación de las rocas ígneas según la profundidad y velocidad de consolidación.

Nombre	Velocidad de solidificación	Localización	Características de la textura
Intrusivas-plutónicas-abisales	lenta	Cristalización a gran profundidad	Fanerítica: grano uniforme y visible de 1 a 5 mm
Filonianas-hipoabisales	media	Consolidación a profundidad media	Porfirítica: granos grandes en matriz fina
Extrusivas-efusivas o volcánicas	rápida	Cristalización cerca o sobre la superficie por erupción volcánica	A fanítica: no se aprecian los granos matriz fina, o no. Afanítica: bombas

Fuente: LÓPEZ, L. G. El concreto y otros materiales.

Rocas sedimentarias

Este tipo de rocas se encuentran en un 75% en la superficie terrestre y son producto de la sedimentación en un fluido de material natural, estas conformaciones se establecen por capas de distintos espesores²⁰. La tabla mostrada a continuación muestra los tipos de rocas clásticas las cuales son originarias de la erosión de diferentes rocas:

Tabla 5. Propiedades físico mecánicas.

Roca	Grano	Forma de grano más general	Tamaño del grano (mm)
Conglomerado	Cantos y gravas	Redondeado	256-64
Brecha	Fragmentos líticos	Angulares	64-5
Arenisca	Arena	Redondeado o angular	5-0,074
Limolita	Limo	Redondeado	0,074-0,002
Arcillolita	Arcilla	Laminar	< 0,002

Fuente: LÓPEZ, L. G. El concreto y otros materiales.

²⁰ LÓPEZ, L. G. El concreto y otros materiales. Manizales: Universidad Nacional de Colombia. Marzo, 2003. 12 p.

Rocas metamórficas

Las rocas metamórficas se generan a partir de rocas ígneas o sedimentarias por medio de la cristalización que se da en un medio líquido o gaseoso con presencia de calor y presión. Cuando se usan este tipo de rocas en construcción se debe tener en cuenta que la porosidad es poca y que su meteorización varía de acuerdo con el tipo de cementante que se usa²¹, algunas de las rocas más usadas se mencionan a continuación con sus respectivas características como materiales de construcción:

Tabla 6. Principales rocas y sus características como materiales de construcción.

Roca	Método de excavación requerido	Fragmentación	Susceptibilidad a la meteorización
Granito-diorita	Explosivos	Fragmentos irregulares que dependen del uso de los explosivos	Probablemente resistente
Basalto	Explosivos	Fragmentos irregulares que dependen de las juntas y grietas	Probablemente resistente
Toba	Explosivos o equipo	Fragmentos irregulares muchas veces con finos en exceso	Algunas variedades se deterioran rápidamente
Arenisca	Explosivos o equipo	En lajas, dependiendo de la estratificación	Según la naturaleza del cementante
Conglomerado	Explosivos o equipo	Exceso de finos dependiendo del cementante	Algunas se alteran para formar arenas limosas
Limonita-lutita	Equipo	Desde pequeños bloques de lajas	Muchas se desintegran rápidamente para formar arcilla
Caliza- masiva	Explosivos	Fragmentos irregulares muchas veces lajas	Las vetas pizarrosas se deterioran, pero las otras son resistentes
Pizarras	Explosivos	Fragmentos irregulares o alejados, según la foliación	Algunas se deterioran con procesos de humedecimiento y secado
Gnesis	Explosivos-esquisto	Fragmentos irregulares muchas veces alargados	Probablemente resistente
Desechos industriales o de mina	Equipo	Depende del material, pero en la mayoría de los casos es irregular	La mayoría de las variedades (excepto las ígneas de mina) deben considerarse deteriorables

Fuente: LÓPEZ, L. G. El concreto y otros materiales.

²¹ LÓPEZ, L. G. El concreto y otros materiales. Manizales: Universidad Nacional de Colombia. Marzo, 2003. 14 p.

Clasificación de los agregados

Los agregados usados en el concreto se clasifican por su tamaño, procedencia y densidad, estas características serán descritas con mayor detalle:

Tamaño:

El tamaño del agregado se puede encontrar de proporciones milimétricas hasta centímetros, en la siguiente tabla se describen los tamaños del agregado, su clasificación como fracción muy fina, agregado fino o grueso y si es recomendable como material para la producción del concreto²².

Tabla 7. Clasificación general del agregado según su tamaño.

Tamaño de las partículas en mm (pulg.)	Denominación más corriente	Clasificación	Clasificación como agregado para concreto
Inferior a 0,002 Entre 0,002- 0,074 (N°200)	Arcilla Limo	Fracción muy fina	No recomendable
Entre 0,074- 4,76 (N°200- N°4)	Arena	Agregado fino	Material apto para producir concreto
Entre 4,76-19,1 (N°4-3/4")	Gravilla	Agregado grueso	
Entre 19,1-50,8 (3/4"-2")	Grava		
Entre 50,8-152,4 (92"-6")	Piedra		
Superior a 152,4 (6")	Rajón, Piedra bola		

Fuente: Sánchez, D. G. Tecnología del concreto y del mortero.

Procedencia:

La procedencia del agregado es de rocas, las cuales son fragmentadas de forma natural (intemperismo y abrasión) o artificial (como en las canteras o procesos

²² Sánchez, D. G. Tecnología del concreto y del mortero. 5 ed. Bogotá D.C.: Quebecor World Bogotá S.A., 2001. 70 P.

mecánicos), de igual forma cabe resaltar que existen agregados naturales y artificiales. En los agregados naturales se encuentran los materiales inertes formados a través de los años y por procesos naturales (rocas ígneas, sedimentarias o metamórficas), mientras que los agregados artificiales son aquellos del resultado de alguna actividad humana como la escoria de alto horno en siderúrgicas, limadura de hierro, etc.²³

Densidad:

La densidad del agregado depende de la masa, el volumen y los poros que tiene cada fracción del agregado, en la tabla de clasificación del agregado según su densidad, se muestra la relación masa volumen como peso unitario, los rangos en que se clasifican como ligeros, normales o pesados, ejemplos de uso en diferentes tipos de concreto y el tipo de agregado que se podría usar²⁴.

Tabla 8. Clasificación del agregado según su densidad.

Tipo de concreto	Peso unitario aprox. Del concreto Kg/m ³	Peso unitario del agregado Kg/m ³	Ejemplo de utilización	Ejemplo de agregado
Ligero	400-800	60-800	Concreto para aislamientos	Piedra pómez
	950-1350	480-1040	Concreto para rellenos y mampostería no estructural	Perlita
	1450-2000		Concreto estructural	
Normal	2000-2500	1300-1600	Concreto estructural y no estructural	Canto rodado agregado de río
Pesado	2500-5600	3400-7500	Concreto para protección contra radiación gamma o X, y contrapesas	Piedra barita, magnetita

Fuente: Sánchez, D. G. Tecnología del concreto y del mortero.

²³ Sánchez, D. G. Tecnología del concreto y del mortero. 5 ed. Bogotá D.C.: Quebecor World Bogotá S.A., 2001. 69 P.

²⁴ Sánchez, D. G. Tecnología del concreto y del mortero. 5 ed. Bogotá D.C.: Quebecor World Bogotá S.A., 2001. 70 P.

1.1.2.3. AGUA

Para la mezcla de concreto es de gran importancia el uso del agua puesto que es un componente esencial para la que el cemento pueda desarrollar su capacidad ligante. El cemento hidratado cuenta con tres formas diferentes de agua como primera se encuentra en la composición molecular de los compuestos presentes, la segunda es la aquella que está en los poros o capilares del agregado y por último el agua absorbida por la mezcla. El agua usada para una mezcla de concreto tiene que ser adecuada para el uso humano sin agentes contaminantes como químicos, ácidos o aceites, entre otras, pues este tipo de sustancias pueden disminuir la resistencia del concreto, el fraguado y corroen las barras de acero. Cabe resaltar que el agua de curado tiene como finalidad hidratar por completo la mezcla de concreto para que se logre la resistencia esperada al estar saturada²⁵.

1.1.2.4. ADITIVO

Los aditivos son productos químicos solubles en agua y en dosificaciones inferiores al 5% respecto a la masa del cemento, este se adiciona durante el mezclado del concreto con el objetivo de modificar una o varias propiedades que facilitarían el uso del material ya sea en estado fresco o endurecido²⁶. Los aditivos más usados son los plastificantes, plastificantes retardantes, retardantes, estabilizadores, superplastificantes, acelerantes, incorporadores de aire, reductores de aire, reductores de retracción, inhibidores de corrosión, impermeabilizantes, activadores, entre otros²⁷.

Los aditivos para impermeabilizar y fluidificar el concreto sirven para facilitar el proceso de fundido y vibrado del concreto, por tanto, aumenta la manejabilidad al momento de realizar la mezcla, adicionalmente reduce la cantidad de agua excedente en los vacíos y hormigueros en el concreto²⁸.

²⁵ LÓPEZ, L. G. El concreto y otros materiales. Manizales: Universidad Nacional de Colombia. Marzo, 2003. 28 p.

²⁶ Rivera L., G. A. Capítulo 10. Proporciones en volumen suelto. En: Concreto simple. Cauca: Universidad del Cauca. 2010. 169-170 P.

²⁷ Sika Colombia S.A.S. Aditivos para concreto. 2014. 3-7 P.

²⁸ Sika Colombia S.A.S. Plastocrete® DM. 2018. 1-2 P.

1.1.2.5. DISEÑO DE MEZCLA

El diseño de mezcla es de gran importancia a la hora de fundir concreto, pues es en este diseño que se tienen en cuenta que factores se buscan en el concreto como su resistencia y su uso. El método de dosificación a usar depende de las condiciones y características (resistencia, acabado, durabilidad, trabajabilidad, etc.) que se deseen obtener es por esto que se describirán diferentes métodos para la realización del diseño de mezcla:

Método 1. ACI 211

Este método es recomendado por el comité ACI 211 debido a su precisión pues tiene en cuenta factores como la consistencia, trabajabilidad, tamaño de agregado y volumen resultante. Para entender de forma más precisa este método se describirá los factores que se tienen en cuenta para su aplicación²⁹:

- El asentamiento es un factor que depende del tipo de obra y la elaboración del concreto, lo cual determina la trabajabilidad, existen unos asentamientos recomendados de acuerdo con el tipo de estructura y las condiciones de uso como se muestra a continuación

Tabla 9. Asentamientos en concreto.

Consistencia	Asentamiento cm	Tipo de estructura y condiciones de colocación
Muy seca	0-2,0	Pilotes o vigas prefabricadas de alta resistencia, con vibradores de formaletas.
Seca	2,0-3,5	Pavimentos con máquina terminadora vibradora.
Semi-seca	3,5-5,0	Pavimentos con vibradores normales. Fundaciones de concreto simple construcciones en masas voluminosas. Losas medianamente reforzadas con vibración.

²⁹ LÓPEZ, L. G. El concreto y otros materiales. Manizales: Universidad Nacional de Colombia. Marzo, 2003. 68 p.

Media	5,0-10,0	Pavimentos compactados a mano. Losas medianamente reforzadas con mediana compactación, columnas, vigas, fundaciones y muros reforzados con vibración.
Húmeda	10,0-15,0	Revestimiento de túneles, secciones con demasiado refuerzo. Trabajos donde la colocación sea difícil. Normalmente no es apropiado para compactarlo con demasiada vibración.

Fuente: LÓPEZ, L. G. El concreto y otros materiales.

- Al momento de seleccionar el tamaño máximo del agregado se debe tener en cuenta que depende del tipo de estructura a construir y no puede pasar un quinto de la dimensión más pequeña de los lados de la formaleta, ni tres cuartos del espaciamiento de las varillas de refuerzo, ni un tercio del grosor de la losa. También se recomienda usar el mayor tamaño de agregado posible por economía, por usar menos cemento y menor cantidad de agua para que la contracción disminuya.
- El contenido de agua depende del tamaño de agregado y el asentamiento buscado en la mezcla de concreto, otro factor de importancia es la textura del agregado debido a que puede necesitar mayor o menor cantidad de agua.
- La resistencia de diseño depende de cada mezcla de concreto se requiere diseñar de acuerdo al uso y a la resistencia crítica.
- La relación agua cemento se debe hacer teniendo en cuenta la resistencia, la durabilidad y el acabado que se desea.
- La determinación de la cantidad de cemento se hace realizando la división del contenido del agua entre la relación agua cemento.
- Se debe realizar el cálculo del contenido de agregado grueso y fino.
- Es necesario obtener, evaluar y ajustar la humedad de los agregados finos y gruesos y finalmente dosificar.

Método 2. Volumen

El método volumétrico fue el primer método de dosificación y es uno de los más usados por su facilidad de uso al momento de calcular las cantidades de cemento y agregado, en la tabla mostrada a continuación se establecen las cantidades para 1 m³ de acuerdo con la resistencia y requerimiento de obra³⁰.

Tabla 10. Dosificación para 1 m³ de concreto.

Dosificación o riqueza de cemento por metro cúbico de hormigón (kg/m ³)	Proporciones			Litros			Material sólido necesario para 1 m ³ de hormigón: 1450 t. Agua aproximada por m ³ , según cono: 150-250 t. Riqueza de cemento por m ³ , según calidad: 150-450 kg. Peso aproximado de 1 m ³ de hormigón: 2200-2500 kg. Peso 1 saco de cemento: 33 lt. Peso de 1 lt de cemento en saco: 1,5kg.
	Cemento	Arena	Grava	Cemento	Arena	Grava	
100	1	6	12	75	450	900	Rellenos. Hormigón de limpieza o pobre. Zanjas. Cimientos. Grandes espesores. Muros de contención. Pozos de cimentación. Soleras. Pilares, soportes y prefabricados corrientes. Pavimentos. Hormigones armados. Zapatas: Muros especiales. Hormigones para estructuras. Pilares. Vigas. Forjados delgados. Piezas a fatiga. Viguetas. Prefabricados especiales. Pretensados. Postensados. Trabajos y obras muy especiales de gran control.
150	1	4	8	110	440	980	
200	1	3	6	145	435	870	
250	1	2,5	5	170	425	850	
300	1	2	4	207	415	830	
350	1	2	3	240	480	720	
400	1	1,5	3	263	395	790	
450	1	1,5	2,5	290	435	725	
500	1	1	2	360	360	730	

Fuente: Bolívar, Orlando. Guía práctica para el diseño de mezclas de hormigón.

³⁰ Bolívar, Orlando. Guía práctica para el diseño de mezclas de hormigón. Medellín: Universidad Nacional de Colombia, 1987. 119-120 P.

Método 3. Fuller-Thompson

Este método establece que el tamaño de los agregados no debe superar los 70 mm (Tamiz 1 ½”) deben ser de forma redondeada y con 300 Kgf mínimo de cemento, esto debido a que el tipo de diseño se hace para estructuras poco armadas. Según Fuller-Thompson se deben tener en cuenta los siguientes principios³¹:

- Teniendo en cuenta la forma en que se compacte la mezcla de se debe escoger la consistencia del concreto.
- Determinación del tamaño máximo del árido, resistencia de diseño y relación agua cemento se obtienen de la misma forma que en el método ACI 211.
- Contenido total de agua.
- Cantidad de agregado.
- Dosificación.

Método 4. Bolomey

Aunque el método de Bolomey tiene casi todos los mismos principios que el de Fuller-Thompson, el único paso que cambia es respecto al porcentaje del agregado pues en este método se tienen en cuenta variables como un coeficiente que varía según la consistencia del concreto, el tipo de agregado, la abertura y la longitud de malla del tamiz, mientras que Fuller-Thompson lo determinan con la abertura y la luz de malla. Este método pretende disminuir los costos de concreto respecto a la resistencia, forma de los agregados y consistencia³².

³¹ Bolívar, Orlando. Guía práctica para el diseño de mezclas de hormigón. Medellín: Universidad Nacional de Colombia, 1987. 123-130 P.

³² Bolívar, Orlando. Guía práctica para el diseño de mezclas de hormigón. Medellín: Universidad Nacional de Colombia, 1987. 139-144 P.

1.1.2.6. ELABORACIÓN DE CILINDROS

La elaboración y curado de cilindros se realizan con respecto a la NTC 1377, debido a la importancia que tiene para el proyecto la obtención de resultados verídicos y eficaces:

Tabla 11. Elaboración y curado de cilindros.

Norma	NTC 1377
Descripción	Elaboración y curado de especímenes de concreto para ensayos de laboratorio
Objetivo	El objetivo de esta norma es describir los procedimientos para elaborar y curar especímenes de concreto.

Fuente: Icontec. Ingeniería civil y arquitectura. Elaboración y curado de especímenes de concreto para ensayos en el laboratorio.

De igual forma se realiza el ensayo para el asentamiento con la NTC 396:

Tabla 12. Asentamiento.

Norma	NTC 396
Descripción	Método de ensayo para determinar el asentamiento del concreto
Objetivo	El objetivo de esta norma es determinar el asentamiento del concreto en obra y en el laboratorio.

Fuente: Icontec. Ingeniería civil y arquitectura. Método de ensayo para determinar el asentamiento del concreto.

1.1.3. CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES

Identificar las características, físicas y químicas en los materiales que van hacer utilizados es de gran importancia para determinar su comportamiento estructural en una mezcla de concreto. Es por esto que a continuación se realizara una descripción de los ensayos que se le van a realizar a los respectivos materiales con su respectiva normatividad en este caso la NTC.

1.1.3.1. CARACTERIZACIÓN FÍSICA

Agregado grueso

La densidad del agregado grueso se realiza por medio de la NTC 176:

Tabla 13. Densidad y absorción agregado grueso.

Norma	NTC 176
Descripción	Método de ensayo para determinar la densidad y la absorción del agregado grueso
Objetivo	Con este ensayo se busca determinar la densidad aparente y nominal a una temperatura de $23\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ para agregado grueso

Fuente: Icontec.

Agregado fino

La densidad y absorción del agregado fino se realiza por medio de la NTC 237 de acuerdo con la tabla:

Tabla 14. Densidad y absorción agregado fino.

Norma	NTC 237
Descripción	Método para determinar la densidad y la absorción del agregado fino
Objetivo	Con este ensayo se busca determinar la densidad aparente y nominal a una temperatura de $23\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ para agregado fino.

Fuente: Icontec. Método para determinar la densidad y la absorción del agregado fino.

Cemento

Para la determinación de la densidad del cemento hidráulico se tiene en cuenta la NTC 176:

Tabla 15. Densidad del cemento hidráulico.

Norma	NTC 176
Descripción	Método de ensayo para determinar la densidad del cemento hidráulico
Objetivo	Con este ensayo se busca determinar la densidad del cemento hidráulico.

Fuente: Icontec. Ingeniería civil y arquitectura. Método de ensayo para determinar la densidad y la absorción del agregado grueso.

1.1.3.2. CARACTERIZACIÓN MECÁNICA

Se realiza la caracterización mecánica a los cilindros de concreto por medio del ensayo de resistencia a la compresión de concreto por medio de la NTC 673, en esta norma se describe el procedimiento que se debe seguir para medir la resistencia, los cálculos y los tipos de falla que se pueden presentar en cada uno de los especímenes:

Tabla 16. Resistencia a la compresión cilindros de concreto.

Norma	NTC 673
Descripción	Ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto
Objetivo	Este ensayo determina la compresión de especímenes cilíndricos de concreto. Los valores de expresa de acuerdo con la NTC 1000

Fuente: Icontec. Concretos. Ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto.

1.1.3.3. CARACTERIZACIÓN POR MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO (SEM)

Es una herramienta la cual tiene como base la microscopia óptica, el haz de luz que se usa normalmente es reemplazado por un haz de electrones con el que se construye la ilustración con una resolución privilegiada frente a otros instrumentos. El haz de electrones es generado a través de un equipo (filamento de tungsteno o de hexaboruro de lantano) que emite una iluminación del espécimen, luego gracias a distintos detectores se almacenan nuevamente los electrones emitidos inicialmente, en este proceso se produce la interacción entre la superficie del

espécimen y los electrones, razón por la cual se puede conformar la imagen, dando detalles precisos de la muestra. La preparación de dicha muestra se denomina pulverización catódica debido a que el espécimen se cubre con carbón para generar conducción y producir los siguientes fenómenos³³:

- Electrones secundarios (Secondary Electron Image SEI): Gracias a estas partículas se generan imágenes tridimensionales con alta resolución, ya que la muestra analizada por si misma produce electrones secundarios que al chocar con el haz generado por el equipo forman dichas imágenes.
- Electrones retrodispersados (Backscattered Electron Image BEI): Con este tipo de electrones se forma una ilustración con resolución de menor calidad que con los electrones secundarios, pero tienen un contraste mayor lo cual permite que se obtenga la topografía de la muestra.
- Rayos x (Energy Dispersive Spectrometer EDS): La energía dispersa en la muestra permite la realización de un análisis espectrográfico de la conformación de la muestra. Al emitirse rayos x sobre la muestra esta desaloja los electrones internos.

Las limitaciones de este equipo consisten en que las muestras deben ser conductoras, encontrarse en ausencia de humedad y no es posible determinar la organización interna de la misma³⁴.

³³ Patología + rehabilitaciones + construcción. La microscopía electrónica de barrido SEM (I) Concepto y usos. España. 2012. Obtenido de: <https://www.patologiasconstruccion.net/2012/12/la-microscopia-electronica-de-barrido-sem-i-concepto-y-usos/>

³⁴ Uniandes. Microscopía de Barrido de Electrones (MEB). Bogotá D.C. 2017. Obtenido de: <https://investigaciones.uniandes.edu.co/microscopio-electronico-de-barrido-meb/>

1.2. ESTADO DEL ARTE

La influencia de las cenizas de bagazo de caña de azúcar como reemplazo parcial del cemento en la resistencia a la compresión de los morteros³⁵

En este artículo se muestran los resultados de la investigación que se realizó con el uso de las cenizas del bagazo de caña de azúcar como una sustitución parcial del cemento en la producción de morteros. Para el cual determinaron la cantidad óptima de cenizas y sustituyeron parcialmente el cemento en seis mezclas con diferentes porcentajes de ceniza, donde evaluaron la resistencia a compresión a los 28, 63 y 91 días. Con esto hallaron que el aumento de la resistencia a compresión a los 91 días que fue de aproximadamente 8% para los morteros hechos con cenizas de bagazo de caña de azúcar, mientras que en los morteros sin sustitución parcial de la masa de cemento fue solo de un 5%, a la misma edad. Para este experimento se realizó una caracterización del material, donde se realizaron pruebas de laboratorio utilizando la difracción de rayos X (XRD), y la fluorescencia de rayos X (WDXRF) y pruebas iniciales para la cuantificación ideal de sustitución del cemento por los residuos. Encontraron que es viable el uso de cenizas de bagazo de caña de azúcar como sustitución parcial del cemento en diversas aplicaciones en el campo de la ingeniería civil.

Ceniza de bagazo de caña para elaboración de materiales de construcción: estudio preliminar³⁶

En este estudio se analizaron tres cenizas procedentes de ingenios azucareros del Valle del Cauca, por medio de difracción de rayos X, composición química, y actividad puzolánica. Las muestras fueron tratadas térmicamente debido al alto contenido de inquemados, y se les determinó la actividad puzolánica, encontrándose índices hasta del 97%, cumpliendo a cabalidad con la norma ASTM C618. Con los resultados concluyeron que éste residuo puede ser adicionado al cemento para la elaboración de materiales de construcción. Se realizó un tratamiento térmico a las cenizas a temperaturas de 500, 600 y 700°C durante 3

³⁵ La influencia de las cenizas de bagazo de caña de azúcar como reemplazo parcial del cemento en la resistencia a la compresión de los morteros. Berenguer, R. A., y otros. 2018. 8, Brasil : s.n., 30 de 01 de 2018, ALCONPAT, Vol. 1, págs. 30-37.

³⁶ Ceniza de bagazo de caña para elaboración de materiales de construcción: estudio preliminar. Vidal, Diana V., Torres, Janneth y González, Luis O. 2014. 48E, Valle del Cauca : s.n., Julio de 2014, Revista de Física, págs. 14-23.

horas. Este tratamiento se realizó en un horno eléctrico a una velocidad de calentamiento de 10°C/min.

Usage of sugarcane bagasse as an additive in building materials³⁷

Este artículo muestra el estudio del bagazo de caña de azúcar como un aditivo para el material de construcción de 3 maneras que están en el mejoramiento de la fuerza del concreto, un retardador de concreto y ladrillo compuesto. Para esto mezclaron el bagazo de caña de azúcar con concreto de 30 MPa y se evaluó su compresión, flexión, absorción de agua y penetración. Con esto encontraron que el elemento de la fibra ofrece una adecuada unión entre moléculas en la mezcla de hormigón y proporciona propiedades mecánicas superiores en comparación con la muestra normal, además de aumentar las propiedades mecánicas del ladrillo de hormigón celular. También encontraron que puede prolongar el tiempo de fraguado del concreto, por lo tanto, el bagazo de la caña de azúcar puede actuar como un retardador de concreto natural.

Properties of sugarcane fiber on the strength of the normal and lightweight concrete³⁸

En este estudio se realizaron varias mezclas de fibra de caña de azúcar con porcentajes de 0.5%, 1.0% y 1.5% para ser usada en concreto de grado normal y concreto liviano, con el fin de determinar si hay un aumento en la resistencia a la compresión y tensión del concreto. El resultado de la prueba mostró que el valor óptimo que contienen las mezclas de caña de azúcar es 0.5%, donde recomiendan no exceder ese porcentaje. Con este porcentaje se obtuvo un valor de la resistencia a la tracción más alto que el del concreto convencional y también retardo el tiempo de agrietamiento del concreto.

³⁷ Usage of sugarcane bagasse as an additive in building materials. Yahya, Muhamad Azani, y otros. 2015. Malaysia : s.n., 20 de Abril de 2015, Trans Tech Publications, Vols. 754-755, págs. 369-372.

³⁸ Properties of sugarcane fiber on the strength of the normal and lightweight concrete. Khalid, Faisal Sheikh, Herman, Herman Shah y Azmi, Nurul Bazilah. 2017. 2017, MATEC.

Comportamiento mecánico del concreto reforzado con fibras de bagazo de caña de azúcar³⁹

Esta investigación tenía como objetivo la caracterización de los concretos reforzados con fibras de bagazo de caña, con el fin de recomendar ampliamente su uso, principalmente a nivel rural. Para lo cual, se preparó un material compuesto de fibra de bagazo de caña y concreto, donde las fibras presentaron una distribución aleatoria dentro del compuesto. Se estudió la influencia del tamaño y de la adición de fibras expresadas en porcentaje del peso total, en la resistencia a compresión y en la densidad del material. El tratamiento aplicado a las partículas o fibras de bagazo con Hidróxido de calcio al 5,0 % durante 24 horas a una temperatura de laboratorio de 24°C, y con cloruro de calcio al 3,0 % en relación a la masa de cemento como acelerante del fraguado, presento un comportamiento aceptable, permitiendo baja degradación de la fibra en la matriz del compuesto. La resistencia a compresión del concreto reforzado con fibras de bagazo de caña es inversamente proporcional al porcentaje de la fibra adicionada y al diámetro de las partículas, aspecto que coincide con lo encontrado en ensayos realizados en otras fibras como el coco, el bambú, entre otros.

Efecto de la ceniza de bagazo de caña y ceniza volante en la trabajabilidad, propiedades mecánicas y durabilidad de concretos ternarios⁴⁰

En este trabajo se estudiaron los efectos de la combinación de ceniza de bagazo de caña (CBC) y ceniza volante (CV), como sustitutos parciales de cemento Portland. Donde se caracterizaron mezclas de concretos modificados con CBC y CV en estado fresco mediante pruebas de revenimiento, contenido de aire, peso volumétrico y temperatura. En su estado endurecido se determinaron resistencia a la compresión, módulos de elasticidad y relación de Poisson. Finalmente, se evaluó la durabilidad de los concretos mediante pruebas de resistencia al ingreso del ion cloruro, pruebas de carbonatación acelerada y pruebas electroquímicas en concreto reforzado. La incorporación de 10% de ceniza de bagazo de caña más un 20% de ceniza volante es la combinación que permite mejorar la trabajabilidad y durabilidad de concretos ternarios sin afectar negativamente sus propiedades mecánicas.

³⁹ Comportamiento mecánico del concreto reforzado con fibras de bagazo de caña de azúcar. Osorio Saraz, Jairo Alexander, Varón Aristizabal, Fredy y Herrera Mejía, Jhonny Alexander. 2007. 153, Medellín : Universidad Nacional de Colombia, 28 de Febrero de 2007, Dyna, págs. 69-79.

⁴⁰ Jiménez Quero, M. C. Víctor Guillermo. 2013. Comportamiento mecánico del concreto reforzado con fibras de bagazo de caña de azúcar. Chihuahua, México : CIMAV, Abril de 2013. pág. 172.

Influencia de la ceniza de bagazo de caña de azúcar proveniente del ingenio Monte Rosa sobre las propiedades físico-mecánicas y de durabilidad de morteros de cemento Tipo Gu⁴¹

En este trabajo se investigó el efecto que tiene el sustituir cemento y arena por cenizas de bagazo de caña de azúcar tamizada y sin tamizar, se estudió las propiedades mecánicas y de durabilidad de morteros de cemento tipo GU. También determinaron la composición química de las cenizas de bagazo de caña de azúcar por medio de Fluorescencia de Rayos X (FRX). Donde se usaron los porcentajes de 15, 30 y 45% para sustituir el cemento, y el 30, 06 y 90% para sustituir la arena. Se encontró que a medida que aumentaba el porcentaje de sustitución se dio una disminución de las propiedades físico-mecánicas de los morteros fabricados. Recomiendan usar porcentajes menores al 15% para sustituir al cemento con la ceniza, además de pulverizar el bagazo a diferentes finuras.

Estudio del empleo de cenizas producidas en ingenios azucareros como sustituto parcial del cemento portland en el diseño de mezclas de concreto⁴²

Este trabajo consiste en la investigación del uso de ceniza de bagazo de caña de azúcar sustituyendo parcialmente al cemento Tipo GU en la mezcla de concreto, donde realizaron un diseño de mezcla de concreto para una resistencia de 210 Kg/cm². Para la cual, realizaron sustituciones parciales de cemento del 5%, 10%, 15%, 20%, 25% y 30% por ceniza, donde se elaboraron 10 especímenes para ensayo por cada diseño de mezcla. La distribución de cilindros fue de 3 cilindros para la edad de 7 días, 3 cilindros para la edad de 14 días y finalmente los 4 restantes para la edad de 28 días, para un total de 130 cilindros (con y sin ceniza). Se encontró que los porcentajes óptimos son del 10% (para las cenizas del Ingenio Chaparrastique) y del 15% (par cenizas del Ingenio Jiboa) de sustitución de cemento, el cual aumenta la resistencia a la compresión a los 28 días, sobre el 100% del f'c en estudio. Respecto a los resultados recomiendan realizar una investigación del uso de ceniza por cemento en mortero.

⁴¹ Gaitán Arévalo, Juniet Rebeca y Tórrez Rivas, Belkiss Jessenia. 2013. Influencia de la ceniza de bagazo de caña de azúcar proveniente del ingenio Monte Rosa sobre las propiedades físico-mecánicas y de durabilidad de morteros de cemento Tipo Gu. Managua, Nicaragua : Universidad Nacional de Ingeniería, 2013. pág. 101.

⁴² Arévalo, A., Andrade Portillo, J. N., Hernández Zelaya, J. A., & Noé, H. Estudio del empleo de cenizas producidas en ingenios azucareros como sustituto parcial del cemento portland en el diseño de mezclas de concreto. Trabajo de grado para optar el título de Ingeniero Civil. El Salvador: Universidad De El Salvador. 2016. 286 p.

Evaluation of mechanical properties of Sugar Cane Bagasse Ash concrete⁴³

Realizaron un estudio de cómo se afectan las propiedades mecánicas (resistencia a la compresión, módulo de ruptura y módulo de elasticidad) del concreto al adicionarle ceniza de bagazo de caña. Donde se molió el bagazo en un molino de bolas durante 45 minutos y se quema a temperatura baja (400 °C) por 4 horas. Se usó 5%, 10% y 30% de la ceniza. El 10% muestra que la resistencia de la ceniza mejora en un 28% la resistencia a la compresión del concreto.

Evaluating the effects of sugar cane bagasse ash (SCBA) and nanosilica on the mechanical and durability properties of mortar⁴⁴

El presente artículo tiene como objetivo determinar las propiedades mecánicas y de durabilidad del mortero en presencia de la ceniza de nano-sílice y bagazo de caña, para esto se realizaron 16 mezclas. A las muestras se le realizaron las pruebas de transporte, de permeabilidad cloruro, de resistividad eléctrica y de poro-simetría de intrusión de mercurio. El nano-sílice mejoró las propiedades mecánicas y la durabilidad de mortero, mientras ceniza de bagazo no tenía una considerable influencia en el rendimiento de mortero de acuerdo a una menor resistencia y durabilidad a edades tempranas (3 y 7 días) pero en edades mayores se mostró un mejor rendimiento. Fue reemplazado el 3% y 6% de ceniza de nano-sílice respecto a el peso de cemento. En el caso de la ceniza de bagazo de caña se sustituyó 0%, 10%, 20% y 30% del peso de cemento. La resistencia a la compresión en la ceniza de bagazo aumento en edades mayores a 7 días, pero disminuyo al aumentar el contenido de ceniza. La temperatura de incineración del bagazo debe estar entre 500°C y 800°C durante 30 minutos en un horno con dos ventiladores. Es recomendable no usar más de 20% de ceniza de bagazo.

⁴³ Jagadesh, P., Ramachandramurthy, A., & Murugesan, R. Evaluation of mechanical properties of Sugar Cane Bagasse Ash concrete. En: Construction and Building Materials. Mayo, 2018. vol. 176, p. 608-617.

⁴⁴ Joshaghani, A., & Amin Moeini, M. Evaluating the effects of sugar cane bagasse ash (SCBA) and nanosilica on the mechanical and durability properties of mortar. En: Construction and Building Materials. Octubre, 2017. vol. 152, p. 818-831.

Utilization of sodium waterglass from sugar cane bagasse ash as a new alternative hardener for producing metakaolin-based geopolymer cement⁴⁵

Este artículo tiene como propósito analizar la resistencia de cementos con geopolímeros a base de metacaolín por medio de sodio soluble de la caña de azúcar (ceniza de bagazo) aditivo endurecedor. La resistencia a la compresión del cemento geo-polímero curado a temperatura ambiente por 28 días fue 32,9 MPa. Las muestras remojadas durante 28 días en agua en experimentos paralelos revelaron una resistencia de 31,4 MPa. El valor de absorción de agua fue 7,1% en las mezclas. Para preparar el aditivo endurecedor de vidrio soluble de sodio partir de ceniza de bagazo de caña de azúcar, se le adiciono la ceniza de bagazo de caña a gránulos de hidróxido de sodio (relación 1:4), esto fue mezclado con 200 ml de agua destilada durante 1 hora a una temperatura de 150°C, adicionalmente se hizo uso de un agitador magnético para mejorar la disolución.

Production of carboxymethyl lignin from sugar cane bagasse: A cement retarder additive for oilwell application⁴⁶

En este artículo se estudia la eficiencia de Carboxy Methyl Lignina proveniente de la biomasa de caña de azúcar como aditivo retardante en pastas de cemento para pozos petroleros. El incremento en el espesamiento de las lechadas de cemento que contenían diferentes concentraciones de CML alcanzaban hasta un 104% de espesamiento en relación a una mezcla sin CML. Se extrajo la lignina de la celulosa presente en biomasa de caña, la lignina se modificó químicamente produciendo Carboxy Methyl Lignin (CML).

⁴⁵ Tchakoutéa, H. K., Rüscher, C. H., Hinschb, M., Djoboc, J. N., Kamseuc, E., & Leonelli, C. Utilization of sodium waterglass from sugar cane bagasse ash as a new alternative hardener for producing metakaolin-based geopolymer cement. En: *Chemie der Erde, Geochemistry*. Mayo, 2017. vol. 77, no. 2, p. 257-266.

⁴⁶ Santos Moreira, P. H., Oliveira Freitas, J. C., Martins Bragab, R., Mendonça Araújo, R., & Fonseca de Souza, M. A. Production of carboxymethyl lignin from sugar cane bagasse: A cement retarder additive for oilwell application. En: *Industrial Crops and Products*. Junio, 2018. vol. 116, p. 144-149.

Effect of mechanical processing on sugar cane bagasse ash pozzolanicity⁴⁷

En esta investigación se estudiaron los efectos de las cenizas del bagazo de la caña de azúcar en diferentes porcentajes para pastas de cemento. Se realizaron ensayos de calorimetría isotérmica, termogravimetría y contracción química. Aumentó sistemáticamente la fracción soluble de sílice y los índices de actividad de fuerza a los 7 y 28 días. Se reemplazó la ceniza de caña en 9%, 10%, 17% y 20% por cemento.

Studies on mechanical properties of concrete using sugarcane bagasse ash (scba)⁴⁸

Este artículo busca evaluar la resistencia a la compresión del concreto al ser modificado con un aditivo como la ceniza del bagazo de la caña. El mejor porcentaje de aditivo fue 10% superando resistencias de 40 MPa y 60 MPa. Se quemó el bagazo a una temperatura entre 900-1100°C durante 5 horas, luego se llevó al molino de bolas y se tamizó en 1/4". Se sustituyó un 10%, 20% y 30%.

Sugar cane bagasse ash as a pozzolanic material⁴⁹

En este artículo se busca sustituir dos muestras de bagazo de caña de azúcar en el concreto, una muestra es calcinada y la otra solo es molida. Se realizaron los siguientes ensayos espectroscopia infrarroja (FIRTS), resistencia a la compresión, difracción de rayos X, Análisis térmico diferencial y termogravimetría, espectrometría de fluorescencia de rayos X, masa específica, superficie específica y tamaño de partícula, Índice de actividad puzolánica (PAI).

⁴⁷ Effect of mechanical processing on sugar cane bagasse ash pozzolanicity. Cordeiro, Guilherme C. y Kurtis, Kimberly E. 2017. Julio de 2017, Cement and Concrete Research, Vol. 97, págs. 41-49.

⁴⁸ STUDIES ON MECHANICAL PROPERTIES OF CONCRETE USING SUGARCANE BAGASSE ASH (SCBA). Shivakumar, S, Karthik, M y Sidramappa, S. 2012. 2012, Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE), págs. 33-37. ISSN: 2278-1684.

⁴⁹ Mansaneira, E. C., Schwantes-Cezario, N., Barreto-Sandoval, G. F., & Martins-Torralles, B. Sugar cane bagasse ash as a pozzolanic material. En: DYNA. Junio, 2017. vol. 84, no. 201, p. 163-171.

Comportamiento mecánico del concreto reforzado con fibra de bagazo de caña de azúcar⁵⁰

Esta tesis evalúa el comportamiento que tiene la fibra del bagazo de caña en el concreto. Usaron cal viva para proteger el cuerpo de la fibra. Se realizaron ensayos de granulometría de los agregados, peso específico, capacidad de absorción, densidad aparente de los agregados, determinación del contenido de humedad, abrasión, resistencia a la tracción y a la compresión. Para la preparación de las fibras de bagazo de caña se dejó secar durante 3 meses para que el material tenga un bajo contenido de humedad, se tamizó y lavo con agua. Finalmente se llevó las fibras a un horno para ser secadas y evitar la degradación de la misma. Se usó 0%, 1,5%, 2,5%, 5% y 8% de fibra. Se recomienda el uso de 1,5%, puesto que al usar 8% la fibra se degrada en la mezcla de concreto.

La ceniza de cascarilla de arroz y su efecto en adhesivos tipo mortero⁵¹

En esta investigación se encuentran dos etapas principales, en la primera se realizaron ensayos físicos y químicos a la estructura de la cascarilla de arroz como lo son ensayo granulométrico, módulo de finura con el cual se estableció el porcentaje de éter de celulosa no iónico (Aditivo orgánico retenedor de agua), contenido de humedad, densidad, porcentaje de vacíos, masa unitaria (suelta y compacta). La ceniza de la cascarilla de arroz posee un alto contenido de sílice, por lo cual puede reemplazar el agregado fino que se usa en mezclas de mortero. El agregado fino fue reemplazado en porcentaje de 5% a 25% por la ceniza, de acuerdo con los resultados obtenidos de los ensayos de tracción el 20% con agregado de ceniza tiene un resultado similar con aditivos comerciales.

Para el diseño de mezcla es importante resaltar el uso de algún tipo un aditivo retenedor de agua (como éter de celulosa no iónico), debido a que mantiene la cantidad de agua durante el fraguado y mejorar la manejabilidad. En la caracterización química se realizó un ensayo de presencia de impurezas orgánicas con la prueba de colorimétrica con hidróxido de sodio (NTC 217). Es recomendable usar de 20% a 25% de ceniza de cascarilla de arroz. Se usa 5%, 10%, 15%, 20% y 25% de ceniza de cascarilla de arroz en mortero.

⁵⁰ Espinoza Carvajal, Marlon Jonatan. 2015. COMPORTAMIENTO MECANICO DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRA DE BAGAZO DE CAÑA DE AZUCAR. Tesis maestría. Cuenca : Universidad de Cuenca, 2015. pág. 189.

⁵¹ Novoa, M., Becerra, L., & Vásquez, M. La ceniza de cascarilla de arroz y su efecto en adhesivos tipo mortero. En: Universidad Libre. Noviembre, 2016.

Uso de la cascarilla de arroz como material alternativo en la construcción⁵²

La cascarilla de arroz es el aditivo agrícola del cual se obtuvo el óxido de silicio SiO₂, compuesto con el cual se va mejorar la resistencia a la compresión del concreto; dicho compuesto se adquirió por medio de un proceso llamado "proceso de reflujo". Es necesario separar la parte orgánica de la parte inorgánica por medio de procesos químicos y físicos, esto con el fin de evitar riesgos en la estabilidad y calidad del concreto. El proceso de reflujo inicia con el lavado y la remoción de partículas sólidas de la cascarilla de arroz, se dejó secar a temperatura ambiente para luego lavarla con ácido clorhídrico HCL durante 5 horas, se dejó secar a temperatura ambiente y posteriormente se secó al horno. La tercera y última fase consiste en llevar el producto a un molino de bolas. Una vez obtenido el aditivo, se fundieron los cilindros de concreto con una dosificación que no afectara la relación agua cemento. De acuerdo con un estudio de difracción de rayos x se estableció que luego de realizar el proceso de reflujo en la cascarilla de arroz, se obtuvieron partículas con forma irregular, cristalina y baja concentración de impurezas. Una vez obtenido el aditivo, se fundieron los cilindros de concreto con una dosificación que no afectara la relación agua cemento. De acuerdo con un estudio de difracción de rayos x se estableció que luego de realizar el proceso de reflujo en la cascarilla de arroz, se obtuvieron partículas con forma irregular, cristalina y baja concentración de impurezas.

Rice husk ash – pozzolanic material for sustainability⁵³

Este artículo realizó un estudio detallado de la efectividad que tiene la ceniza de la cascarilla de arroz (RHA) con respecto a sus propiedades puzolánicas, por lo cual se reemplazó en una mezcla de concreto de grado 30, 40 y 50 el cemento con un contenido de RHA hasta del 30%. hicieron uso de un plastificante para mejorar la trabajabilidad y presencia de poros en el concreto. Para obtener la ceniza se puso la cascarilla de arroz en un horno de ferrocemento en el cual se dejó quemar la materia prima y enfriar durante 24 horas, para luego molerla en la máquina de los ángeles. Se hicieron probetas con los diseños respectivos para cada grado de resistencia tanto haciendo uso de un plastificante en la mitad de los casos, a estos se les realizaron ensayos de resistencia a la compresión, rayos x, coeficiente de permeabilidad y penetración rápida de iones cloruro (RCPT). Se usó 20% y 30% de ceniza de cascarilla de arroz para concreto de grado 30; 10%, 15%, 20%, 25% y

⁵² Uso de la cascarilla de arroz como material alternativo en la construcción. Mafla B., Andrés. 2009. 6, Mayo de 2009, Inventum, págs. 74-48.

⁵³ Kartini, k. Rice husk ash – pozzolanic material for sustainability. En:International Journal of Applied Science and Technology. Noviembre, 2011. vol. 1, no. 6, p. 169-178.

30% para concreto de grado 40; 10%, 15%, 20%, 25% y 30% para concreto de grado 50. Para obtener la ceniza se usó un horno de ferrocemento y fue molida en la máquina de los ángeles.

Mechanical properties of the concrete containing recycled fibers and aggregates⁵⁴

Mixed Recycled Aggregates (MRA) es una mezcla de concreto reciclado y materiales de mampostería. Este tipo de agregados tiene menor resistencia y mayor absorción de agua que los agregados naturales. En este estudio, se investiga el efecto de las fibras de acero recicladas sobre las propiedades mecánicas del concreto normal y el concreto con agregado reciclado. El porcentaje de reemplazo de agregados gruesos naturales con estos agregados es de 0%, 50% y 100%, con un porcentaje de fibra de 0.5% y 1% del volumen de concreto. Los principales resultados indican que, al agregar fibras recicladas en el concreto con agregados reciclados, se produce un reemplazo estructural de los agregados en 50% de la producción de concreto estructural. Para esto se realizaron análisis termogravimétrico (TG) y análisis del difractómetro de rayos X (XRD). Se encontró que las fibras de acero reciclado con un porcentaje del 1% aumentan las resistencias a la tracción y a la flexión del hormigón, así como la tenacidad a la flexión del hormigón aumentan.

Mechanical properties of lightweight concrete made with coal ashes after exposure to elevated temperatures⁵⁵

Este estudio investigó la resistencia térmica del concreto ligero con cenizas de carbón recicladas y cenizas volantes. Donde las muestras se expusieron a temperaturas de hasta 800°C, luego se enfriaron a temperatura ambiente para después realizar experimentos sobre los cambios en sus propiedades físicas y químicas. Se encontró que el uso de ceniza de carbón como agregado y la incorporación de cenizas volantes en el aglutinante aumentaban la resistencia térmica.

⁵⁴ Mechanical properties of the concrete containing recycled fibers and aggregates. Ahmadi, Mohsen, y otros. 2017. Abril de 2017, Construction and Building Materials, Vol. 144, págs. 392-398.

⁵⁵ Mechanical properties of lightweight concrete made with coal ashes after exposure to elevated temperatures. Ahn, Y.B., Jang, J.G. y Lee, H.K. 2016. 01 de Junio de 2016, Cement and Concrete Composites, Vol. 72, págs. 27-18.

Contribution of plant fibers in improving the behavior and capacity of reinforced concrete for structural applications⁵⁶

Este artículo presenta la contribución de las fibras vegetales (paja de trigo) en la mejora del comportamiento y la capacidad del hormigón armado para aplicaciones estructurales. Para lo que se realizaron vigas de concreto armado con y sin inclusión de paja de trigo. También, se agregó paja con un contenido de 1%, en masa de concreto húmedo y una longitud de 25 mm con un diseño de mezcla (es decir, 1: 2: 4). El estudio concluye con un aumento de la resistencia a la flexión (hasta 7,5%), absorción de energía (hasta 30,4%) e índices de tenacidad (hasta 11,1%) junto con un mejor mecanismo de detención de grietas mediante la incorporación de paja de trigo en el concreto armado. Mediante la incorporación de la paja de trigo se obtiene un aumento de la resistencia a la flexión, absorción de energía e índices de tenacidad junto con un mejor mecanismo de detención de grietas. Con base en la investigación realizada, se puede afirmar que es probable que el concreto con paja de trigo con varillas de acero tenga el potencial para usarse en aplicaciones de pavimento de concreto. Además, las ecuaciones propuestas para la capacidad de momento y el diseño del grosor del pavimento de hormigón pueden aplicarse al hormigón armado con paja de trigo.

Concretes containing biomass ashes: Mechanical, chemical, and ecotoxic performances⁵⁷

El objetivo de este trabajo fue evaluar la posibilidad de utilizar cenizas de biomasa como sustitutos de cemento y agregados naturales en concretos, sin comprometer sus propiedades mecánicas, químicas y ecotóxicas, en condiciones de lixiviación marina y de agua dulce. Donde las formulaciones en las que se usaron cenizas volantes para reemplazar el 10% del cemento han presentado valores de resistencia a la compresión similares a los del hormigón de referencia, y la incorporación de 30% de cenizas volantes se ha realizado en hormigones con valores de resistencia a la compresión más bajos que los registrados para el material de referencia. Estas formulaciones fueron enviadas a ensayos mecánicos de resistencia a la compresión, después de 28, 60 y 90 días de curado. El nivel de sustitución del 18%

⁵⁶ Farooqi, M. U., & Ali, M. Contribution of plant fibers in improving the behavior and capacity of reinforced concrete for structural applications. En: Construction and Building Materials. Junio, 2018. vol. 182, p. 94-107.

⁵⁷ Concretes containing biomass ashes: Mechanical, chemical, and ecotoxic performances. Barbosa, Rui, y otros. 2013. 08 de Agosto de 2013, Construction and Building Materials, Vol. 48, págs. 457-463.

de los agregados por las cenizas parece haber promovido los valores más altos de resistencia a la compresión, con respecto a las demás mezclas.

Comparative environmental life-cycle analysis of concretes using biomass and coal fly ashes as partial cement replacement material⁵⁸

Este trabajo estudió los beneficios ambientales de incorporar porcentajes diferentes de dos tipos de cenizas que se pueden usar en concreto como reemplazo de cemento. Estas cenizas son productos de desecho de los sectores de producción de energía y calor que utilizan carbón o biomasa como combustible. En este trabajo, se estudiaron nueve hormigones diferentes con diferentes mezclas de aglutinantes y se compararon con un concreto convencional. Los resultados mostraron que el mejor concreto es aquel en que el 60% del cemento es reemplazado por cenizas de carbón de biomasa. Las cenizas volantes de carbón y biomasa utilizadas individualmente o mezcladas muestran una capacidad para reducir los impactos ambientales del concreto, en comparación con el concreto convencional.

Estudio teórico y experimental del comportamiento del hormigón con materiales no convencionales: fibras de vidrio y fibras de carbono, sometido a esfuerzos de compresión⁵⁹

En este estudio se buscó llegar a mejorar sus características mecánicas, físicas y químicas mediante la utilización de materiales no convencionales como lo son las fibras de vidrio y las de carbono, las fibras que se usaron tenían una longitud de 1mm y un diámetro de 5cm de longitud. Los cilindros fueron sometidos a esfuerzos de compresión, para así determinar sus propiedades y eficiencias de los diferentes tipos de concreto con resistencias de 21 MPa. El uso de fibras, en este caso de vidrio como refuerzo para una mezcla de concreto es muy eficiente, debido a que es una alternativa innovadora que mejora las propiedades estructurales del concreto dando mayor rigidez y menor deformaciones al concreto al someterlo a cargas de compresión. Los especímenes de concreto modificado con fibras de vidrio presentaron considerablemente mejores condiciones estructurales al aumentar la

⁵⁸ Comparative environmental life-cycle analysis of concretes using biomass and coal fly ashes as partial cement replacement material. Teixeira, Elisabete R., y otros. 2015. 112, 14 de Octubre de 2015, Journal of Cleaner Production, págs. 2221-2230.

⁵⁹ Castiblanco Sarmiento, Cristian David y Carrero Bastos, Luis Anderson. 2015. Estudio teórico y experimental del comportamiento del hormigón con materiales no convencionales: fibras de vidrio y fibras de carbono, sometido a esfuerzos de compresión. Bogotá : Universidad Católica de Colombia, 2015. pág. 88.

resistencia a la compresión, aproximadamente en un 45% en comparación con el concreto simple sin fibras; y un 38% de aumento de la resistencia a la compresión, con respecto a la resistencia teórica utilizada de 3000 psi.

Análisis comparativo entre el concreto simple y el concreto con adición de fibra de acero al 12% y 14%⁶⁰

En este trabajo se determinó experimentalmente el comportamiento del concreto convencional, y el concreto modificado con fibra de acero con unos porcentajes de 12% y un 14%, buscando alcanzar la resistencia de diseño. Se elaboraron los ensayos de laboratorios pertinentes y establecidos por norma INV E- 402 -07, donde se elaboraron 27 cilindros de 10X20cm y se fallaron a los 14, 21 y 28 días. Se comprobó una mejora en la resistencia a la compresión de los cilindros con fibra de acero con respecto a los cilindros sin fibra. Aunque, la manejabilidad del concreto disminuyó significativamente a medida que incrementó la cantidad de fibras en el concreto.

Uso de No Tejidos de Fibras Vegetales en Matrices de Cemento para Materiales de Construcción⁶¹

En esta investigación se realizó una serie de ensayos de laboratorio en la Escuela Superior de Agricultura de Barcelona (ESAB) con la finalidad de proponer una mejora en la dosificación de las materias primas que conforman las matrices de cemento y así poder optimizar el uso de los no tejidos de fibras de lino. Además, se analizó el comportamiento de algunas de las probetas realizadas al ser sometidas a un proceso de envejecimiento acelerado mediante varios ciclos seco-húmedos y al ser expuestas a la intemperie. Se recomienda realizar nuevos ensayos de laboratorio incorporando el uso de mantas no tejidas de algún tipo diferente de fibra vegetal (cáñamo, sisal, kenaf, henequén, etc.) como material de refuerzo de los morteros de cemento. Mediante el ensayo de resistencia mecánica al que fueron sometidas las 36 probetas elaboradas, fue posible identificar las muestras que tuvieron un mejor comportamiento, así como la dosificación de las materias primas más óptima. También se pudo comprobar mediante este ensayo que el uso de

⁶⁰ Castro, V., Andres, P., & Dario, Q. C. Análisis comparativo entre el concreto simple y el concreto con adición de fibra de acero al 12% y 14%. Trabajo de grado Ingeniero Civil. Bogotá: Universidad Católica de Colombia. 2016. 52 p.

⁶¹ Sabanés Hernández, M. A. Uso de No Tejidos de Fibras Vegetales en Matrices de Cemento para Materiales de Construcción. Tesis para optar el título de maestría. Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña. 2013. 60 p.

mantas no tejidas de fibra de lino con un gramaje de 700 g/m² repercute negativamente en la resistencia del material compuesto.

Análisis de las propiedades mecánicas de un concreto convencional adicionando fibra de cáñamo⁶²

Con este trabajo se buscó analizar las propiedades mecánicas a compresión y a flexión de un concreto convencional adicionando fibra de cáñamo. Para dicha evaluación se elaboraron 12 especímenes cilíndricos, 6 con fibra de cáñamo y 6 normales con el fin de obtener la resistencia a la compresión a los 7 días, 14 días y 28 días, igualmente se elaboraron 2 viguetas adicionando fibra de cáñamo para determinar la resistencia a la flexión a los 28 días. Se afirma que la fibra genera mayor esfuerzo manual en el proceso de mezclado. Además, cuando se presenta una falla en el concreto, la fibra genera mayor tenacidad y evita el rompimiento o desprendimiento total del material, proporcionándole un porcentaje de la ductilidad del concreto carece.

Uso de fibras naturales de lechuguilla como refuerzo en concreto⁶³

Este estudio consistió en pruebas a las fibras y a los especímenes de concreto reforzado con fibras naturales (CRFN). Para la caracterización de las fibras se obtuvo su diámetro, la longitud promedio, el % de absorción de agua, la densidad absoluta y la porosidad. También, se observó su morfología con micrografías de la sección transversal de la fibra. Los especímenes de concreto fueron reforzados con fibra sin tratamiento y con fibra impregnada con las sustancias, al 1 % del volumen total de la mezcla (13.8 kg/m³) y con una longitud de la fibra de 20 a 30 mm. La fibra de lechuguilla permite un comportamiento dúctil después del agrietamiento de la matriz de concreto. Las fibras largas adicionadas en bajas cantidades, es decir, con porcentajes bajos del volumen total de la mezcla, proporcionan al concreto la capacidad para soportar mayores cargas de flexión en comparación con el concreto simple.

⁶² Terreros Rojas, L. E., & Carvajal Corredor, I. L. Análisis de las propiedades mecánicas de un concreto convencional adicionando fibra de cáñamo. Trabajo de grado para optar el título de Ingeniero Civil. Bogotá: Universidad Católica de Colombia. 2016. 84 p.

⁶³ Juárez Alvarado, C. A., & Rodríguez López, P. Uso de fibras naturales de lechuguilla como refuerzo en concreto. En: Ingenierías. Enero-Marzo, 2004. vol. VII, no. 22, p. 07-19.

Evaluación de las propiedades mecánicas de concreto simple (3000psi) utilizando ceniza como porcentaje del cemento⁶⁴

El objetivo de esa investigación fue la búsqueda del porcentaje óptimo de ceniza a usar como remplazo del cemento, partiendo de dos diferentes diseños de mezcla. Para lo que se reemplazó el contenido de cemento en un 5%, 10% y un 15% con ceniza, en donde la resistencia de diseño esperada era de 3000 psi para los 28 días. Según el análisis que se realizó sugieren el 5% de ceniza como la dosificación óptima para llegar a la resistencia esperada.

Effect of super plasticizer on the properties of medium strength concrete prepared with coconut fiber⁶⁵

En este artículo se realizó un estudio de comparación entre las propiedades mecánicas del concreto de resistencia media (MSC) y el concreto reforzado con fibra de coco de resistencia media (MSCFRC) con la adición de diferentes porcentajes de súper plastificante (80%, 0,5%, 1% y 1,5%). Donde la relación de diseño de mezcla fue de 1: 2: 2 y el contenido optimizado de humo de sílice fue del 15% y las fibras de coco con una longitud de 5 cm y el contenido de fibra del 2%. Con lo que encontraron que en el concreto con contenido optimizado de humo de sílice (15%), fibra de coco (2%) y súper plastificante (1%) se puede utilizar para aplicaciones de ingeniería civil. El contenido optimizado de humo de sílice, fibra de coco y súper plastificante se puede utilizar en aplicaciones estructurales para aumentar la durabilidad. Además, de mejorar las propiedades mecánicas favoreciendo su utilidad para las aplicaciones de ingeniería civil, como edificios de gran altura y puentes.

⁶⁴ Guerrero Vargas, D. A., & Chaves García, D. A. Evaluación de las propiedades mecánicas de concreto simple (3000psi) utilizando ceniza como porcentaje del cemento. Trabajo de grado para optar el título de Ingeniero Civil. Bucaramanga, Colombia: Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga. 2013. 78 p.

⁶⁵ Khan, M., & Ali, M. Effect of super plasticizer on the properties of medium strength concrete prepared with coconut fiber. En: Construction and Building Materials. Septiembre, 2018. vol. 182, p. 703-715.

Caracterización mecánica del concreto reforzado con fibras de fique modificando la matriz cementicia con aditivo a base de humo de sílice⁶⁶

Para este trabajo se compararon las propiedades de cinco diferentes tipos de muestras de concreto modificado utilizando fibras de fique y un aditivo a base de humo de sílice. Donde se sometieron a ensayos de flexión y compresión a los 7, 14 y 28 días, también se analizaron los resultados obtenidos para determinar la eficiencia de las diferentes mezclas de concreto. El aditivo utilizado fue Sika Fume el cual se adiciono a la mezcla de concreto en cantidades de 5%, 7.5% y 10%. En el caso del fique se cortó en fracciones de 4cm, donde se agregó una cantidad entre 9 a 18 kg/m³. Para cada tipo de muestra se ensayaron 3 cilindros y 3 vigas para analizar los resultados. Se evidenció un aumento del 1.29% en la resistencia a compresión del concreto, pero no aumenta la resistencia a flexión. También se encontró que el aditivo a base Humo de Sílice disminuyo la resistencia a compresión con respecto al concreto convencional y al concreto con adición de fibras de fique.

Concreto Estructural Liviano Con Escoria Y Ceniza Volcánicas Del Distrito De Yura⁶⁷

Con esta tesis se buscaba determinar si era factible emplear escoria y ceniza volcánicas del distrito de Yura como agregados para la elaboración de concreto estructural liviano, evaluando las propiedades físicas y mecánicas del concreto con escoria y ceniza volcánicas. Se determinó que la escoria y la ceniza volcánica son aptas química y físicamente para la elaboración de concreto estructural liviano.

Cenizas de coco y hoja de pino para su uso como puzolana⁶⁸

Con el trabajo para este artículo se determinó la densidad, composición química y el Índice de Actividad Resistente (IAR) de la ceniza de fondo de concha de coco (CCC) y hoja de pino (CHP), para evaluar su posible uso como puzolana. Donde la

⁶⁶ Barbosa Galeano, C. G., & Mayorga Rojas, J. S. Caracterización mecánica del concreto reforzado con fibras de fique modificando la matriz cementicia con aditivo a base de humo de sílice. Trabajo de grado para optar el título de Ingeniero Civil. Bogotá: Universidad Piloto de Colombia. 2015. 182 p.

⁶⁷ Tupa Ortiz, A. M. Concreto Estructural Liviano Con Escoria Y Ceniza Volcánicas Del Distrito De Yura. Trabajo de grado para optar el título de Ingeniero Civil. Arequipa, Perú: Universidad Nacional de San Agustín. 2018. 245 p.

⁶⁸ Hernández Toledo, U. I., Alavez Ramírez, R., & Montes García, P. Cenizas de coco y hoja de pino para su uso como puzolana. En: Naturaleza y Desarrollo. Diciembre, 2009. vol. 7, no. 2, p. 33-44.

ceniza de coco se obtuvo a partir de conchas de coco vacías de palma de coco recolectadas en la central de abasto de la ciudad de Oaxaca y la ceniza de pino se obtuvo de hojas de pino (*Pinuspseudostrobus*) recogidas en los alrededores de la ciudad. Para lo cual, se realizó el secado del coco a 105°C durante 24 horas y el pino fue al sol. Después se realizó la quema en un horno de concreto refractario con suministro de aire a una temperatura de 600°C. Se encontró que la ceniza de hojas de pino muestra un alto potencial puzolánico por lo que se podría utilizar como adición puzolánica al cemento Portland. Pero la ceniza de conchas de coco tiene bajo potencial puzolánico, por tanto, requerirían mejorarse con algún tratamiento para poderse emplear. Con lo que concluyeron que la ceniza de pino podría utilizarse como puzolana en el concreto hidráulico.

Evaluación de la trabajabilidad y la resistencia a la compresión del concreto de 210° reforzado con fibra de lechuguilla⁶⁹

Con este trabajo de tesis se buscó evaluar la trabajabilidad y resistencia a la compresión del concreto de 210°C con a la incorporación de la fibra de lechuguilla en la mezcla de concreto. Donde se incorporó la fibra de lechuguilla con el 0.5 % del peso del concreto. Se realizó el diseño de dos mezclas una sin y otra con la adición fibra. Con lo que se concluyó que la fibra de lechuguilla aumentó la resistencia el concreto en un 30 %. Se recomienda que la proporción incorporada al concreto sea menos al 1% del peso del concreto. Donde con un porcentaje de 0.5% se obtiene un concreto con aplicación en las estructuras como lozas aligeradas y macizas, aunque, para utilizar esta fibra se tiene que impermeabilizar con anterioridad.

Uso de fibra de estopa de coco para mejorar las propiedades mecánicas del concreto⁷⁰

En este trabajo se evaluaron las propiedades físicas, químicas y mecánicas de la fibra de la estopa de coco, así como las propiedades físicas y mecánicas de morteros reforzados con volúmenes de fibra del 0.5 y 1.5% y con longitudes de 2 y 5 cm. Se elaboraron cinco tipos de mezclas de concreto, y se consideraron como

⁶⁹ Huánuco Albornoz, K. Y. Evaluación de la trabajabilidad y la resistencia a la compresión del concreto de 210° reforzado con fibra de lechuguilla. Trabajo de grado para optar el título de Ingeniero Civil. Huánuco, Perú: Universidad de Huánuco. 2017. 333 p.

⁷⁰ Quintero García, S. L., & González Salcedo, L. O. Uso de fibra de estopa de coco para mejorar las propiedades mecánicas del concreto. En: Ingeniería y Desarrollo. Julio-Diciembre, 2006. no. 20, p. 134-150.

variables la longitud de fibra y el porcentaje de adición de fibra. Se realizaron muestras cilíndricas que se ensayaron a compresión, y vigas ensayadas a flexión. La resistencia a la compresión más elevada se obtuvo con un volumen de fibra del 1.5%, donde la resistencia mayor se obtuvo con una longitud 2 cm. También se encontró que la adición de fibra afectó positivamente la resistencia a la flexión; el mayor valor de la resistencia a flexión lo presentó el concreto con una adición de fibra del 0.5% y una longitud de 5 cm.

Concreto hidráulico modificado con sílice obtenida de la cascarilla del arroz⁷¹

Se realizó una mezcla de concreto patrón de 350 Kg/cm² a compresión y 42 Kg/cm² a flexión, la cual fue comparada con otra mezcla que sustituye el cemento en un 5%, 15% y 30% por ceniza de cascarilla de arroz. De acuerdo con los resultados de la resistencia a compresión, tracción indirecta y flexión, el porcentaje con valores más cercanos a la muestra patrón es de 5%. Se realizaron ensayos como Microscopio Electrónico de Barrido (MEB), Difracción de rayos x (DRX) (se mostró 91,4 % de óxido de silicio en la ceniza), compresión, flexión y tracción indirecta. La ceniza de cascarilla de arroz es incinerada a 800 °C en un horno durante una hora, luego el material fue molido de forma manual y tamizado. El 5 % es el porcentaje más recomendado puesto se acerca más a los resultados obtenidos con la muestra patrón. El 30% genera una pérdida de resistencia significativa.

Residuos agroindustriales como adiciones en la elaboración de bloques de concreto no estructural⁷²

En este artículo se sustituyó un porcentaje de cemento por cascarilla de arroz, ceniza de cascarilla de arroz y ceniza volante en 10%,15% y 20%. La mezcla patrones hizo con una resistencia a la compresión de 0,802 MPa con bloques. Teniendo en cuenta los resultados y en comparación con la muestra patrón el porcentaje más adecuado a compresión para ser sustituido es de 20 % para la ceniza de cascarilla de arroz, 15% para la ceniza volante de centrales térmicas y 10% para la cascarilla de arroz. Hacen una tabla comparando resultados de otros residuos agroindustriales como agregados en bloques de concreto.

⁷¹ Camargo Pérez, N. R., & Higuera Sandoval, C. H. Concreto hidráulico modificado con sílice obtenida de la cascarilla del arroz. En: Ciencia e Ingeniería Neogranadina. Junio-Octubre, 2016. vol. 27, no. 1, p. 91-109.

⁷² Fuentes Molina, N., Fragozo Tarifa, O. I., & Vizcaino Mendoza, L. Residuos agroindustriales como adiciones en la elaboración de bloques de concreto no estructural. En: Ciencia e Ingeniería Neogranadina. Marzo-Septiembre de 2015. vol. 25, no. 2, p. 99-116.

Estudio de la resistencia a compresión en mezclas de concreto, sustituyendo el 10% en peso de cemento por cenizas de las hojas secas de la palma chaguaramo como material puzolánico⁷³

Este estudio tiene en cuenta como se ve afectada la resistencia a la compresión del concreto cuando se sustituye el cemento en un 10% por hojas secas de la palma chaguaramo. Se clasificó la ceniza de acuerdo a su tamaño, así las cenizas pasantes el tamiz #200 y las retenidas en el tamiz #100 y #200. Las retenidas en el tamiz #100 y #200, tuvieron una disminución de la resistencia de un 6,71% y 3,51% respectivamente con respecto a la muestra patrón. La resistencia promedio de la mezcla patrón 179,28 Kg/cm².

Análisis comparativo de la resistencia a la compresión de un concreto adicionado con ceniza de rastrojo de maíz elaborado con agregados de las canteras de cunyac y vicho con respecto a un concreto patrón de calidad $f'c=210$ kg/cm²⁷⁴

En esta tesis se analizó la resistencia a compresión y a flexión en el concreto con agregado de ceniza de rastrojo de maíz respecto a una muestra patrón. Las edades en que se fallaron los especímenes rectangulares fue de 7, 14 y 28 días. La temperatura a la que se calcino el rastrojo de maíz a 400 °C, se determinó que el porcentaje de silicio fue de 70.20% con ensayo químico. El porcentaje que generó mayor resistencia a compresión fue del 7,5% de ceniza con una resistencia de 290,95 Kg/cm². Se reemplazó la ceniza de rastrojo de maíz respecto al peso del cemento en proporciones de 2.5%, 5% y 7.5%.

⁷³ Freitas, A., Osuna, M., Rodrigues, H., Romero, M., & Salazar, D. Estudio de la resistencia a compresión en mezclas de concreto, sustituyendo el 10% en peso de cemento por cenizas de las hojas secas de la palma chaguaramo como material puzolánico. En: Tecnología del Concreto. Marzo de 2013. vol. 1162.

⁷⁴ Galicia Pérez, M. A., & Velásquez Curo, M. A. Análisis comparativo de la resistencia a la compresión de un concreto adicionado con ceniza de rastrojo de maíz elaborado con agregados de las canteras de cunyac y vicho con respecto a un concreto patrón de calidad $f'c=210$ kg/cm². Trabajo de grado para optar el título de Ingeniero Civil. Cusco, Perú: Universidad Andina del Cusco. 2016. 162 p.

Using spent fluid catalytic cracking (FCC) catalyst as pozzolanic addition⁷⁵

En este artículo se hace una caracterización y evaluación de las propiedades mecánicas y de durabilidad para morteros y concreto, usando como aditivo catalizador gastado de craqueo catalítico (FCC). Fue reemplazado en un 15% y 20% el cemento por FCC.

Uso del licor de plantas agavaceas como aditivo en morteros y hormigones⁷⁶

El objetivo de esta tesis está enfocado en analizar el comportamiento que tiene el Agave americana y Furcraea cabuya (fique cenizo) como agregado en morteros, hormigones y yeso. A los extractos obtenidos se les realizaron ensayos de tipo físico-químico: determinación del extracto seco convencional, pérdida por calcinación a 105°C, contenido de halógenos y reductores (azúcares), conductividad, determinación del pH y análisis termogravimétrico. Con respecto a la resistencia a compresión se observó que con el 1% de Agave americana, a igual asentamiento que la muestra control, se obtuvo una mayor resistencia. En el caso de fique se logró una mayor resistencia hasta con un 5% de aditivo a todas las edades. Esto se explica, posiblemente, en la disminución de agua que se obtiene por el efecto plastificante del aditivo. En los dos casos se supera la resistencia a compresión que tuvo el aditivo comercial. Se usó un horno mufla a 1050 ± 25° C durante 15 min. La dosificación de Agave americana se hizo con 1% y 3% reemplazando el cemento en una mezcla de concreto; en morteros de 1%, 3% y 5%. Para el fique se usaron 3%, 5% y 10% en concretos.

Evaluación del jugo de fique como aditivo oclisor de aire y su influencia en la durabilidad y resistencia del concreto⁷⁷

Esta tesis evalúa el comportamiento que tiene la Furcraea cabuya (fique cenizo) en el concreto. Se des-fibra la hoja; la fibra húmeda, se sumerge en un tanque de agua

⁷⁵ Castellanos, T., & Nancy, T. A. Using spent fluid catalytic cracking (FCC) catalyst as pozzolanic addition. En: Ingeniería e Investigación. Junio de 2010. vol. 30, no. 2, p. 35-42.

⁷⁶ Ochoa Botero, J. C. Uso del licor de plantas agavaceas como aditivo en morteros y hormigones. Tesis para optar el título de doctorado. Valencia, España: Universidad Politécnica de Valencia. 2009. 343 p.

⁷⁷ JARAMILLO ZAPATA, L. Y. Evaluación del jugo de fique como aditivo oclisor de aire y su influencia en la durabilidad y resistencia del concreto. Tesis para optar el título de maestría. Medellín: Universidad Nacional de Colombia. 2009. 127 p.

durante 12 a 15 horas con el propósito de eliminar los residuos de jugos y bagazos adheridos a la fibra extraída. A este proceso se le denomina fermentado. Se saca y se le realiza un enjuague. Una vez lavada, la cabuya se extiende en los secaderos elaborados generalmente de alambre o madera rústica. Se logran resistencias adecuadas hasta con el 5% de jugo en la mezcla. Se adiciono 0,5%, 1% y 3% con jugo de fique en morteros y para concreto 3%, 5% y 10%. Cuando se adiciona 0,5% de jugo en el mortero, la resistencia a la compresión es igual a la muestra patrón. En el caso del concreto el 5% supera la resistencia de la muestra patrón.

Uso del jugo de fique como aditivo orgánico en el hormigón⁷⁸

En este artículo se busca investigar el efecto de las hojas de la *Furcraea Cabuya* (fique) en el hormigón. Dichas hojas forman pequeños poros en el concreto lo cual disminuye su densidad y aumentan la durabilidad. Se des-fibra la hoja; la fibra húmeda, se sumerge en un tanque de agua durante 12 a 15 horas con el propósito de eliminar los residuos de jugos y bagazos adheridos a la fibra extraída. A este proceso se le denomina fermentado. Se saca y se le realiza un enjuague. Una vez lavada, la cabuya se extiende en los secaderos elaborados generalmente de alambre o madera rústica. Se usó 3%, 5% y 10% de licor de fique en la mezcla de hormigón. En el hormigón endurecido el aditivo disminuye la resistencia del concreto en todas las edades de curado entre el 20 y el 34%.

Utilización de la ceniza volante en la dosificación del concreto como sustituto del cemento⁷⁹

En este artículo se reemplazó el cemento por ceniza volante en mezcla de concreto. Se realizaron 60 especímenes 3 para cada porcentaje de adición de ceniza volante, donde los porcentajes aplicados fueron de 0%, 2.5%, 5.0%, 10.0% y 15.0% para fallar a los 7, 14, 28 y 90 días. De acuerdo con los resultados a los 28 días se tienen resistencias en promedio de 221Kg/cm para concreto normal, para concreto con 2.5% de ceniza volante 223Kg/cm, para el 5.0% 231Kg/cm, para el 10.0% 200 Kg/cm y 192Kg/cm para el 15% de ceniza volante respectivamente. Las mejores resistencias a la compresión se dieron 2,5 % y 5% por lo tanto se recomienda agregar entre 0% y 7,5% de ceniza volante.

⁷⁸ OCHOA, J. C., & JARAMILLO, L. Uso del jugo de fique como aditivo orgánico en el hormigón. En: Scientia et Technica. Septiembre, 2007. vol. 1, no. 36, p. 455-459.

⁷⁹ Huaquisto Cáceres, S., & Belizario Quispe, G. Utilización de la ceniza volante en la dosificación del concreto como sustituto del cemento. En: Altoandin. Mayo-Junio, 2018. vol. 20, no. 2, p. 225-234.

El uso de aditivos de origen natural integral a masas de concreto para la protección contra la corrosión del acero estructural embebido (caso de estudio: sábila)⁸⁰

En este estudio el objetivo fue evaluar el comportamiento de un aditivo natural como la sábila en una mezcla de concreto y a su vez en la corrosión del acero estructural, al estar el concreto expuesto a un medio salino. Se realizaron 72 probetas de concreto las cuales se sometieron a ensayos de compresión a los 7, 14, 28 días. La sábila como aditivo en la mezcla de concreto afecta considerablemente la resistencia a la compresión pues la disminuye en más del 50%. Se le agregaron aditivos súper plastificantes, retardantes, reductores de agua e inclusores de aire. Además, se usó el 0% 15% y 30% de sábila, en relación a la cantidad total de agua, para lo cual el extracto de sábila paso por un proceso de licuado con el fin de dar una consistencia uniforme al momento de ser adicionada al agua.

1.3. MARCO CONCEPTUAL

Aditivo

Material empleado para modificar, mejorar o impartir propiedades específicas a las mezclas de concreto⁸¹.

Aglomerante

Son aquellos materiales que poseen la propiedad de adherirse unos a otros⁸².

⁸⁰ BABILONIA ESCALLÓN, I. U. El uso de aditivos de origen natural integral a masas de concreto para la protección contra la corrosión del acero estructural embebido (caso de estudio: sábila). Trabajo de grado Ingeniero Civil. Cartagena de Indias: Universidad de Cartagena- 2015. 124 p.

⁸¹ Prada, H. B. GLOSARIO DE TERMINOS (Ingeniería civil) [online]. Mayo, 2012. Disponible en internet: https://www.academia.edu/7799970/GLOSARIO_DE_TERMINOS_Ingenier%C3%ADa_civil

⁸² Soluciones Especiales.Net. Glosario general (Creative commons España) [online]. 2010. Disponible en internet: <http://www.solucionesespeciales.net/Index/Glosario/Glosario.asp>

Bagazo de caña de azúcar

Residuo que queda luego de retirar el jugo azucarado de la caña de azúcar⁸³.

Cemento

Es el producto de la mezcla resultante del proceso de cocción y molienda de Caliza y Arcilla. Este producto tiene la propiedad de endurecerse al ser combinado con el agua y se usa como aglomerante en morteros y hormigones⁸⁴.

Ceniza

Producto obtenido de la incineración de algún material, compuesto por sustancias no combustibles⁸⁵.

Concreto

Material resultante de la mezcla de cemento, grava, arena y agua. Se usa como material de construcción y soporta grandes cargas de compresión⁸⁶.

⁸³ Residuos profesional. Residuos de la caña de azúcar para producir papel reciclado, películas y geles [online]. En: Innovación e Investigación. 16 de Mayo de 2017. Disponible en: <https://www.residuosprofesional.com/bagazo-cana-azucar-papel-reciclado/>

⁸⁴ Construmatica. (s.f.). Construmatica. Arquitectura, ingeniería y construcción [online]. Disponible en internet: <https://www.construmatica.com/construpedia/Cemento>

⁸⁵ EDUCALINGO. Ceniza [online]. Marzo, 2019. Disponible en internet: <https://educalingo.com/es/dic-es/ceniza>

⁸⁶ Glosario Ingeniería Civil. Concreto (material) [online]. 03 de Diciembre de 2017. Disponible en internet: <https://glosarios.servidor-alicante.com/ingenieria-civil/concreto-material>

Curado

Mantenimiento de un adecuado nivel de temperatura y humedad por un periodo de tiempo, para que se puedan desarrollar las propiedades especificadas en el concreto⁸⁷.

Diseño de mezcla

Proceso por el cual se proyecta el diseño de una determinada mezcla, para una resistencia determinada⁸⁸.

Dosificación

Medida de los ingredientes para una mezcla de hormigón o mortero por peso o por volumen⁸⁹.

Encofrado

Es el molde de madera o de metal, en el cual se vacía el hormigón hasta que fragua y que se desmonta después⁹⁰.

Fibras naturales

Pedazos de pelo o de hebra que se obtienen directamente de animales o de vegetales⁹¹.

⁸⁷ EUROREP Maquinaria para Concreto y Trituración. Curado del concreto [online]. 2009. Disponible en internet: <http://www.eurorep.com.mx/articulo-curado-del-concreto.shtml>

⁸⁸ Prada, H. B. Glosario Ingeniería Civil. Maracay: Instituto Universitario Politécnico Santiago Mariño. Julio, 2011. Obtenido de <https://es.slideshare.net/henrywhite776/glosario-ingenieria-civil>

⁸⁹ *Ibíd.*

⁹⁰ Glosario Ingeniería Civil. Concreto (material) [online]. 03 de Diciembre de 2017. Disponible en internet: <https://glosarios.servidor-alicante.com/ingenieria-civil/concreto-material>

⁹¹ Ucha, F. Definición ABC, Fibras Naturales [online]. Octubre, 2015. Disponible en internet: <https://www.definicionabc.com/general/fibras-naturales.php>

Fisura

Rotura que se produce en cualquier material como consecuencia de la presencia de tensiones, ya sean externas como internas, superiores a la capacidad resistente del mismo⁹².

Fraguado

Es el proceso de solidificación del hormigón o mortero, procedente de la reacción del cemento con el agua⁹³.

Granulometría

Medición del tamaño y la cantidad de los agregados, estos factores son importantes debido a su efecto en la dosificación, trabajabilidad, economía, porosidad y contracción del concreto⁹⁴.

Grieta

Abertura longitudinal que se produce en un cuerpo sólido con un ancho mayor de 1mm⁹⁵.

⁹² Construmática, C. Fisura [online]. En: Diccionario de Construcción. s.f. Disponible en internet: <https://www.construmatica.com/construpedia/Fisura>

⁹³ Glosario Ingeniería Civil. Concreto (material) [online]. 03 de Diciembre de 2017. Disponible en internet: <https://glosarios.servidor-alicante.com/ingenieria-civil/concreto-material>

⁹⁴ Prada, H. B. Glosario Ingeniería Civil. Maracay: Instituto Universitario Politécnico Santiago Mariño. Julio, 2011. Obtenido de <https://es.slideshare.net/henrywhite776/glosario-ingenieria-civil>

⁹⁵ Construmática, Construpedia. Grietas. s.f. Disponible en internet: <https://www.construmatica.com/construpedia/Grietas>

Impacto ambiental

Es el efecto positivo o negativo que generan los seres humanos en su habitat natural, producto de las diferentes actividades o proyectos que realizan para su beneficio. Los factores que se deben tener en cuenta de un impacto ambiental son la magnitud, importancia, lugar y si es perjudicial o beneficioso⁹⁶.

Material cementante

Es aquel material que tiene propiedades adhesivas y cohesivas. Estas propiedades hacen viable su unión con fragmentos minerales, con el objetivo de obtener una masa compacta y continua⁹⁷.

Porosidad

Contenido de aire dentro de un determinado elemento⁹⁸.

Puzolana

Es el nombre que se otorga a aquellos los materiales naturales o artificiales que contienen sílice y/o alúmina. Cuando estos materiales se pulverizan pueden reaccionan químicamente con el hidróxido de calcio para formar compuestos con propiedades cementantes, teniendo en cuenta que este proceso requiere de la presencia del agua⁹⁹.

⁹⁶ Peláez, J. D. Evaluación del impacto ambiental de proyectos de desarrollo [online]. 2002. Disponible en internet: <http://bdigital.unal.edu.co/1706/1/71688714.20021.pdf>

⁹⁷ Civilgeeks Ingeniería y construcción. Naturaleza del concreto [online]. Diciembre, 2011. Disponible en internet: <https://civilgeeks.com/2011/12/04/naturaleza-del-concreto/>

⁹⁸ Prada, H. B. Glosario Ingeniería Civil. Maracay: Instituto Universitario Politécnico Santiago Mariño. Julio, 2011. Obtenido de <https://es.slideshare.net/henrywhite776/glosario-ingenieria-civil>

⁹⁹ Salazar J., A. ¿QUÉ ES UNA PUZOLANA? [online]. 2012. Disponible en internet: <http://www.ecoingenieria.org/docs/Puzolanas.pdf>

Relación agua/cemento

Proporción de agua y cemento utilizada para obtener las diferentes mezclas¹⁰⁰.

Trabajabilidad

Facilidad de colocar y consolidar al material utilizado¹⁰¹.

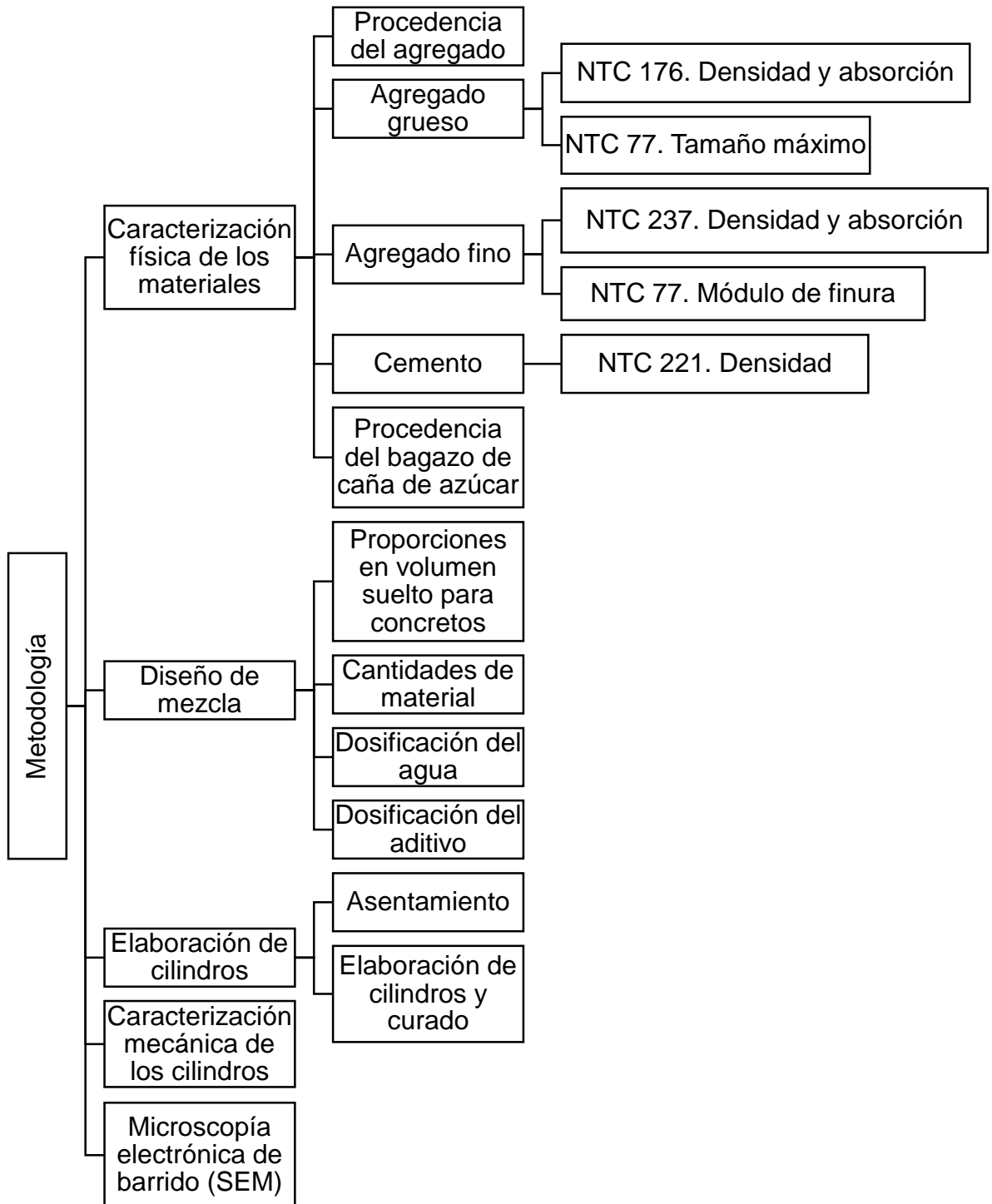
¹⁰⁰ Prada, H. B. Glosario Ingeniería Civil. Maracay: Instituto Universitario Politécnico Santiago Mariño. Julio, 2011. Obtenido de <https://es.slideshare.net/henrywhite776/glosario-ingenieria-civil>

¹⁰¹ *Ibíd.*

2. DISEÑO METODOLÓGICO

En este capítulo se describe la metodología empleada para el desarrollo del trabajo de investigación, donde se realizó una caracterización física de los materiales determinando las propiedades necesarias para el cálculo del diseño de mezcla y así realizar los cilindros con diferentes porcentajes de adición de fibra de bagazo de caña los cuales fueron ensayados a compresión. Dentro de la metodología se encuentra las normas estipuladas para los procesos de caracterización física de los materiales, elaboración de cilindros y caracterización mecánica de los cilindros. En la siguiente ilustración se encuentra el resumen y el orden de la metodología que se empleó.

Tabla 17. Diseño metodológico.



Fuente: Autores.

2.1. CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE LOS MATERIALES

Para la elaboración de la mezcla de concreto se requiere precisar las características de los materiales, lo cual se obtiene mediante la caracterización física de estos.

2.1.1. PROCEDENCIA DEL AGREGADO

Los agregados empleados para el desarrollo del presente trabajo de investigación fueron adquiridos en la planta de Concescol S.A, dicho agregado proviene del Río Cohelo.

Ilustración 4. Ubicación de la planta de producción Concescol S.A.



Fuente: Google Maps.

2.1.2. AGREGADO GRUESO

Para realizar el diseño de mezcla se requiere de la densidad, el porcentaje de absorción y la granulometría del agregado grueso, para esto se emplean las normas NTC 176 y la NTC 77.

- Densidad y absorción: En base a la norma NTC 176 (ASTM C127-93) se determina la densidad y la absorción del agregado grueso. Para este ensayo se toma una muestra del agregado grueso, se sumerge en agua durante 24 horas, luego se remueve el agua se seca la superficie del agregado, y se mide su masa. Posteriormente, se determina la masa sumergida en el agua. Finalmente, se seca con un horno la muestra y se determina su masa una última vez¹⁰².
- Granulometría: En base a la norma NTC 77 (ASTM C136-92) se determina la distribución de los tamaños de las partículas que componen los agregados gruesos. Donde se toma una muestra de agregado seco, se separa a través de una serie de tamices de aberturas progresivamente más reducidas para la determinación de la distribución de los tamaños de las partículas¹⁰³.

2.1.3. AGREGADO FINO

En este trabajo de investigación se emplearon las normas NTC 327 y la NTC 77 para determinar la densidad, el porcentaje de absorción y el módulo de finura del agregado fino, dichos valores se utilizaron para se realizar el diseño de mezcla.

- Densidad y absorción: En base a la norma NTC 237 (ASTM C128-93) se determina la densidad y la absorción del agregado fino¹⁰⁴.

¹⁰² INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN (ICONTEC). Método de ensayo para determinar la densidad y la absorción del agregado grueso. NTC 176, Primera actualización. Bogotá D.C., Colombia: El instituto, (s.f.). 14 p.

¹⁰³ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN (ICONTEC). Método de ensayo para el análisis por tamizado de los agregados finos y gruesos. NTC 77, Segunda actualización. Bogotá D.C.: El instituto, (s.f.). 10 p.

¹⁰⁴ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN (ICONTEC). Método para determinar la densidad y la absorción del agregado fino. NTC 237, Primera actualización. Bogotá D.C.: El instituto, 2001. 13 p.

- Módulo de finura: En base a la norma NTC 77 (ASTM C136-92) se determina la distribución de los tamaños de las partículas que componen los agregados finos, por medio de una serie de tamices de aberturas progresivamente más reducidas¹⁰⁵.

2.1.4. CEMENTO

- Densidad: En base a la norma NTC 221 (ASTM C188-2009) se determina la densidad del cemento hidráulico¹⁰⁶, para esto se requiere tomar el peso de una muestra de cemento y luego por medio de un frasco de le chatelier con kerosene se determina el volumen desplazado por dicha masa de cemento.

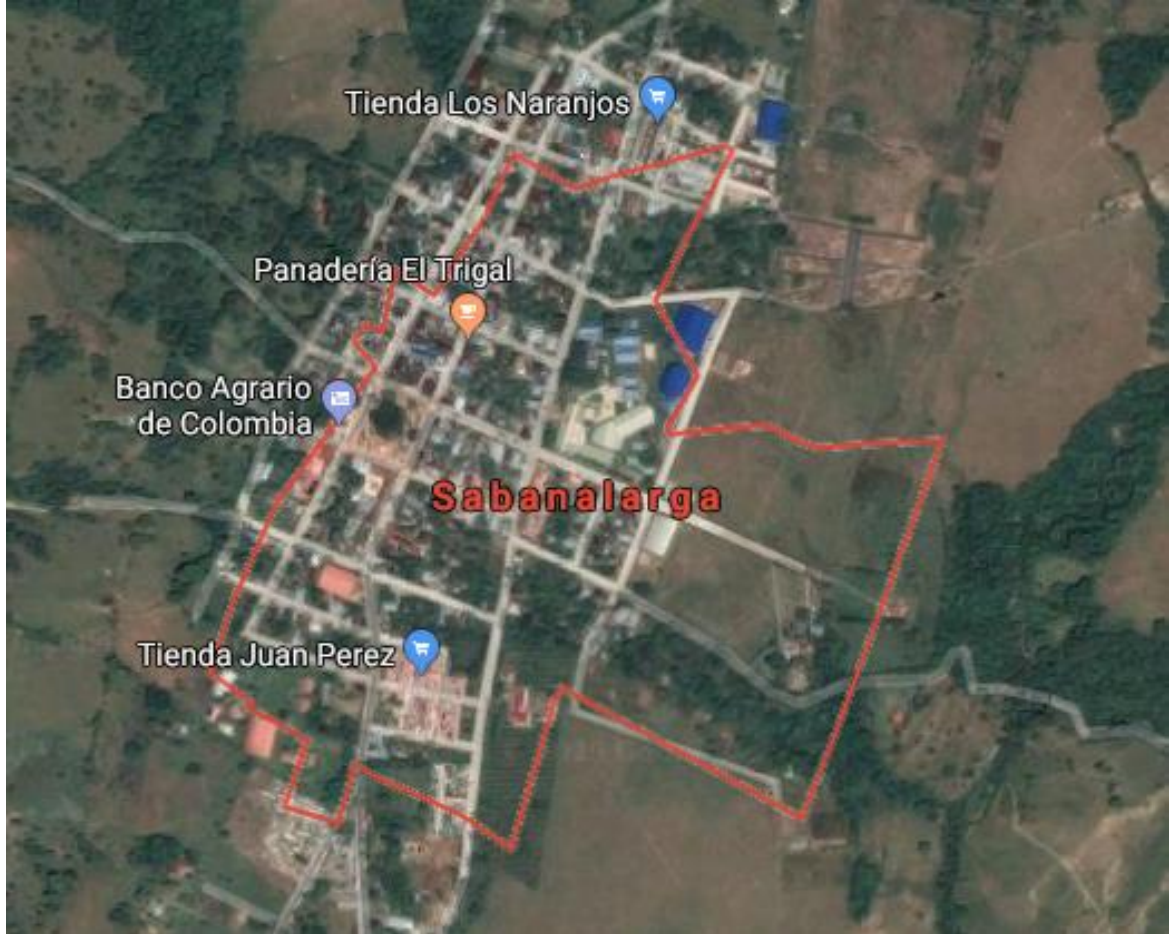
2.1.5. PROCEDENCIA DEL BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR

El bagazo de caña de azúcar empleado para el desarrollo del presente trabajo de investigación se obtuvo en Sábanalarga, Casanare.

¹⁰⁵ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN (ICONTEC). Método de ensayo para el análisis por tamizado de los agregados finos y gruesos. NTC 77, Segunda actualización. Bogotá D.C.: El instituto, (s.f.). 10 p.

¹⁰⁶ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN (ICONTEC). Método de ensayo para determinar la densidad del cemento hidráulico. NTC 221, Segunda actualización. Bogotá D.C.: El instituto, (s.f.). 8 p.

Ilustración 5. Procedencia de bagazo de caña de azúcar.



Fuente: Google Maps.

2.2. DISEÑO DE MEZCLA

El diseño de mezcla se realiza por medio del método de proporciones en volumen suelto en base a la caracterización física de los materiales.

2.2.1. PROPORCIONES EN VOLUMEN SUELTO PARA CONCRETOS

Las proporciones en volumen se expresan colocando primero la unidad que representa el cemento, el siguiente valor representa la proporción de agregado fino

y el ultimo valor representa la proporción del agregado grueso¹⁰⁷. En la siguiente ilustración se muestra las proporciones en volumen más empleadas en el país.

Ilustración 6. Proporciones en volumen suelto más empleadas.

Las proporciones en volumen (suelto) más empleadas en la fabricación de concretos son:

- Concreto estructural:

1:2:2
1:2:2.5
1:2.5:2,5
1:2:3
1:2:4

- Concreto simple para preparar concreto ciclópeo o concretos de resistencias intermedias:

1:3:3
1:3:4
1:3:5
1:3:6

- Concreto de baja resistencia:

1:4:7
1:4:8

Fuente: Rivera L., G. A. Capítulo 10. Proporciones en volumen suelto.

Para este trabajo se consideraron las proporciones para un concreto estructural. En base a los valores de la siguiente tabla se toma la proporción en volumen suelto de 1:2:3 la cual cumple con una resistencia a compresión de 3000 PSI.

¹⁰⁷ Rivera L., G. A. Capítulo 10. Proporciones en volumen suelto. En: Concreto simple. Cauca: Universidad del Cauca. 2010. p. 219-229.

Tabla 18. Cantidades de material estimadas por metro cúbico de concreto y resistencias probables obtenidas.

MEZCLA Prop. en Vol. C:F:G	CEMENTO		AG. FINO m ³	AG. GRUESO m ³	AGUA l	RANGO DE RESIST. PROBABLE A LA COMPRESIÓN 28 días	
	kg	Sacos				kg./cm ²	P.S.I.
1:2:2	420	8,50	0,67	0,67	190	210-250	3000-3600
1:2:2,5	385	7,75	0,61	0,76	180	200-240	2900-3450
1:2:3	350	7,00	0,56	0,84	170	190-230	2700-3300
1:2:3,5	325	6,50	0,52	0,91	165	175-215	2500-3100
1:2:4	300	6,00	0,48	0,96	160	150-190	2100-2700
1:2,5:2,5	350	7,00	0,70	0,70	170	190-230	2700-3300
1:2,5:3	325	6,50	0,65	0,78	165	175-215	2500-3100
1:2,5:3,5	300	6,00	0,60	0,84	160	150-190	2100-2700
1:2,5:4	280	5,50	0,56	0,90	155	140-180	2000-2600
1:2,5:4,5	265	5,25	0,53	0,95	150	135-175	1900-2500
1:3:3	300	6,00	0,72	0,72	160	150-190	2100-2700
1:3:4	265	5,25	0,63	0,84	150	135-175	1900-2500
1:3:5	235	4,75	0,56	0,93	145	110-140	1600-2000
1:4:7	175	350	0,56	0,98	120	80-120	1100-1700
1:4:8	165	325	0,52	1,03	115	70-100	1000-1500

Fuente: Rivera L., G. A. Capítulo 10. Proporciones en volumen suelto.

2.2.2. CANTIDADES DE MATERIAL

Para las proporciones en volumen primero se estiman la cantidad de cada uno de los materiales por metro cúbico de concreto en base a las siguientes ecuaciones:

$$\text{Cemento} = 2100 / (1 + F + G) \quad \text{kg/m}^3 \text{ de concreto}$$

$$C_s = 42 / (1 + F + G)$$

$$\text{Agregado fino} = 0,04 * C_s * F \quad (\text{m}^3 \text{ de material/m}^3 \text{ concreto})$$

$$\text{Agregado grueso} = 0,04 * C_s * G \quad (\text{m}^3 \text{ de material/m}^3 \text{ concreto})$$

Donde:

F: Proporción en volumen suelto de agregado fino.

G: Proporción en volumen suelto de agregado grueso.

2.2.3. DOSIFICACIÓN DEL AGUA

La cantidad de agua necesaria está limitada por la relación agua/cemento especificada por el fabricante del aditivo empleado, el cual recomienda una relación menor de 0,5.

2.2.4. DOSIFICACIÓN DEL ADITIVO

El aditivo Plastocrete se dosifica al 0,5% del peso del cemento de la mezcla según la especificación del fabricante.

2.3. ELABORACIÓN DE CILINDROS

Al haber determinado las proporciones de cada material que se utilizara, se llevarán a cabo 4 mezclas, la primera corresponde a la muestra de control con un diseño de 3000 PSI, la segunda corresponde a la mezcla con una adición del 0,4% de fibra de bagazo de caña de azúcar, la tercera corresponde a la mezcla con una adición del 0,6% de fibra de bagazo de caña de azúcar y la cuarta corresponde a la mezcla con una adición del 0,8% de fibra de bagazo de caña de azúcar, donde para cada mezcla se elaboran 9 cilindros. Previo a la elaboración de los cilindros se prepara los moldes para que se pueda realizar un desencofrado con facilidad. De igual modo, al desencofrar los cilindros deben ser llevados al tanque de agua para que sean correctamente hidratados.

2.3.1. ELABORACIÓN DE CILINDROS Y CURADO

En base a la norma NTC 550 (ASTM C31) se determina el adecuado procedimiento para la elaboración y curado de especímenes de concreto¹⁰⁸.

¹⁰⁸ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN (ICONTEC). Elaboración y curado de especímenes de concreto en obra. NTC 550, Segunda actualización. Bogotá D.C.: El instituto, 2000. 13 p.

2.3.2. ASENTAMIENTO

En base a la norma NTC 396 (ASTM C143-90) se determina el asentamiento del concreto¹⁰⁹.

2.4. CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE LOS CILINDROS

En base a la norma NTC 673 (ASTM C39:2005) se determina el adecuado procedimiento para el ensayo de la resistencia mecánica a la compresión¹¹⁰.

2.5. MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO (SEM)

Antes de realizar el análisis por microscopía electrónica en las muestras de concreto se debe tener en cuenta que:

- Deben estar sin contenido de humedad.
- Las muestras deben ser lo más planas posibles (para que la ilustración sea de mejor calidad).
- Las muestras deben ser conductoras (para evitar distorsión).
- Si la muestra no es conductora por si misma se recomienda que se cubra con una película conductora (capa de 10- 25 nm).

¹⁰⁹ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN (ICONTEC). Método de ensayo para determinar el asentamiento del concreto. NTC 396, Primera edición. Bogotá D.C.: El instituto. 6 p.

¹¹⁰ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN (ICONTEC). 2012. Ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto. NTC 673, Tercera actualización. Bogotá D.C.: El instituto, 2012. 17 p.

- Se debe tener en cuenta el tipo de estudio para elegir el tipo de material con el que se cubrirá la muestra (en el caso del concreto recubre con una película de carbono debido a que se requiere conocer la morfología del concreto).

Se hace uso de carbono porque es un componente que se hace transparente ante los rayos X¹¹¹.

¹¹¹ Brandt, F. Capítulo IV. Análisis mediante Microscopía Electrónica de Barrido. En: Comportamiento del hormigón que tiene entre sus componentes moléculas de nanosílice, ante el ataque químico de sulfato de magnesio. Valdivia, Universidad Austral de Chile, 2008. p. 91-147.

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este capítulo se muestran los resultados obtenidos de la caracterización física de los materiales, el diseño de mezcla elaborado y la caracterización mecánica de los cilindros con su análisis respectivo.

3.1. CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE LOS MATERIALES

3.1.1. AGREGADO GRUESO

Densidad y absorción: El resultado del ensayo realizado en el presente trabajo de investigación arroja una densidad de $2,54 \text{ g/cm}^3$, esto se puede evidenciar en la tabla que se encuentra a continuación. El valor de la densidad de este material se encuentra entre el intervalo $2,48 \text{ g/cm}^3$ y $3,8 \text{ g/cm}^3$ según la revista ASOCRETO¹¹², por tanto, el agregado grueso evaluado cuenta con propiedades favorables que se mantienen desde su lugar de origen. El procedimiento completo se encuentra en el anexo A.

Tabla 19. Resultados densidad y absorción agregado grueso.

Densidad y absorción			
A	Ps	1.779,50	g
B	Psss	1.994,00	g
C	Pw	1.211,00	g
D bulk		2,27	g/cm3
D		2,54	g/cm3
D nominal		3,12	g/cm3
Absorción		12,05	%

Fuente: Autores.

Granulometría: Con los resultados obtenidos en el ensayo de granulometría se puede observar que el material muestra un comportamiento proporcional, identificándose un tamaño máximo de $1/2''$, los resultados y curva granulométrica se encuentran a continuación.

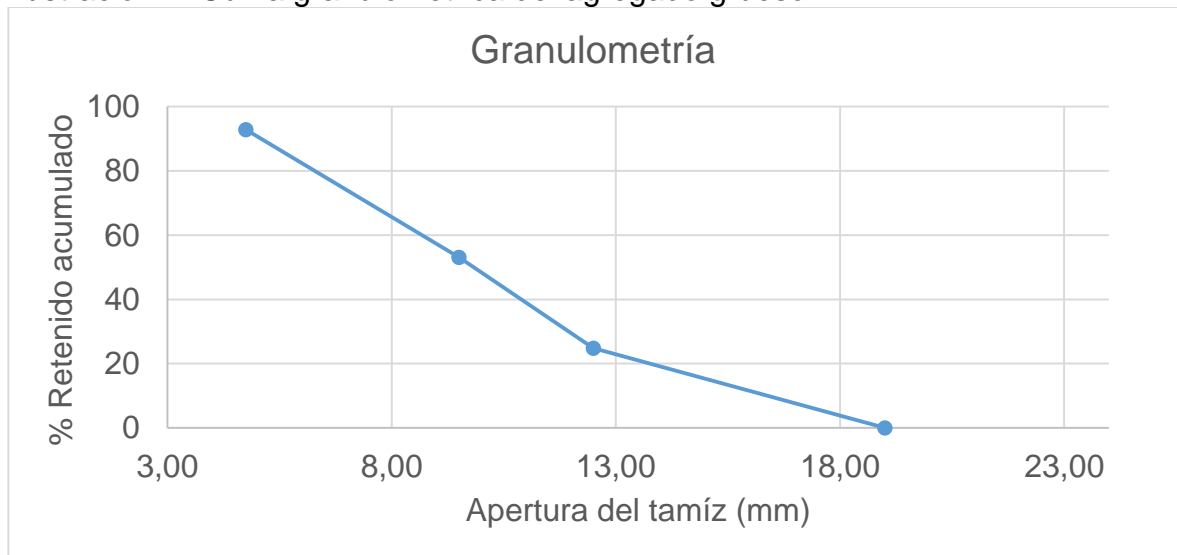
¹¹² Rocha, S. (s.f.). Construaaprende. Practica 17: Densidad y absorción del agregado [online]. México. Disponible en internet: <http://www.construaaprende.com/docs/lab/335-practica-densidad-absorcion-agregados>

Tabla 20. Granulometría del agregado grueso.

Tamiz	Peso retenido (g)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Que pasa
3/4	0	0	0	100
1/2	619	24,83	24,83	75,17
3/8	703,5	28,22	53,06	46,94
N° 4	990	39,72	92,78	7,22
Fondo	180	7,22	100,00	0,00

Fuente: Autores.

Ilustración 7. Curva granulométrica del agregado grueso.



Fuente: Autores.

3.1.2. AGREGADO FINO

Densidad y absorción: La densidad del agregado fino es de 2.63 g/cm³, lo que indica que el grado de compactación es menor que en el agregado grueso, presentando un mejor acomodamiento en las partículas. En la siguiente tabla se identifican los resultados obtenidos para densidad y absorción, donde en el anexo B se muestra el procedimiento de este ensayo.

Tabla 21. Resultados densidad y absorción agregado fino.

Densidad y absorción			
A	Ps	498,51	g
B	Psss	662,11	g
C	Pw	972,59	g
S		500,00	g
Dbulk		2,62	g/cm ³
D		2,63	g/cm ³
D nominal		2,64	g/cm ³
Absorción		0,30	%

Fuente: Autores.

Módulo de finura: En base a la granulometría expuesta en la siguiente tabla se obtuvo un módulo de finura de 2.79, dicho valor se encuentra dentro del rango, el cual oscila entre 2.5 y 3.1, por tanto, se puede decir que es favorable para el diseño de la mezcla.

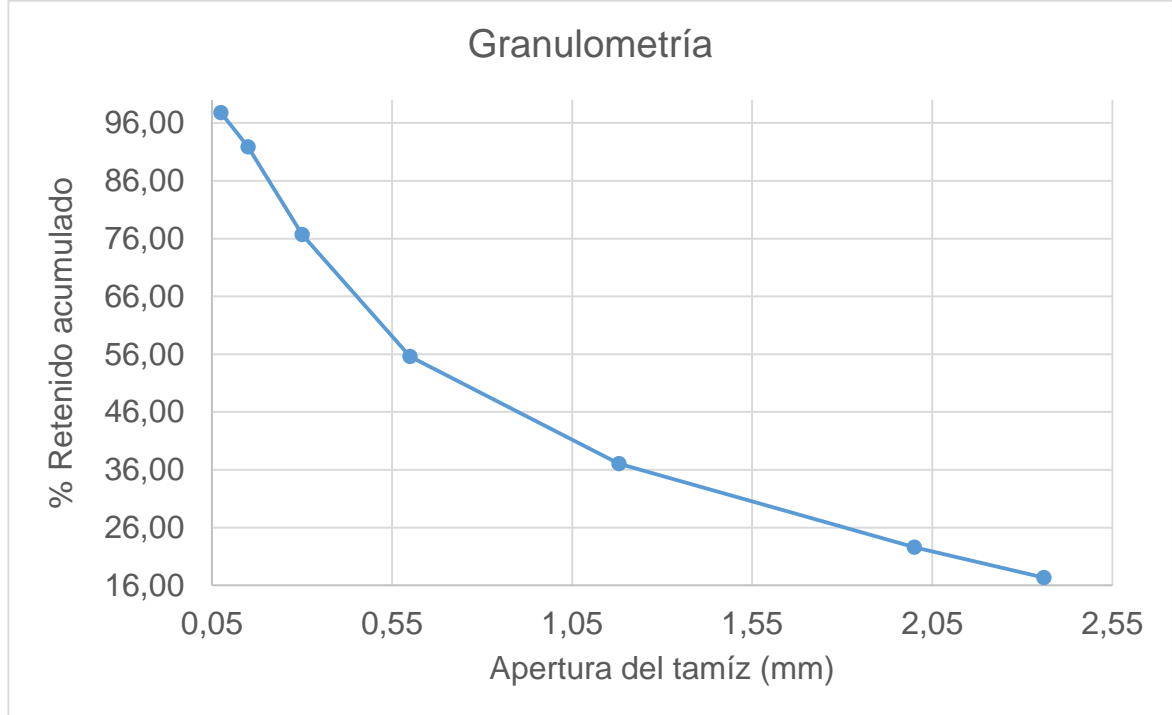
$$\text{Modulo de finura} = 2,79$$

Tabla 22. Granulometría del agregado fino.

Tamiz	Peso retenido (g)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Que pasa
N° 4	0	0	0	100
N° 8	60,7	17,34	17,34	82,66
N° 10	18,5	5,28	22,62	77,38
N° 16	50,5	14,42	37,05	62,95
N° 30	64,9	18,54	55,58	44,42
N° 50	74	21,14	76,72	23,28
N° 100	53	15,14	91,86	8,14
N° 200	20,7	5,91	97,77	2,23
Fondo	7,8	2,23	100,00	0,00

Fuente: Autores.

Ilustración 8. Curva granulométrica del agregado fino.



Fuente: Autores.

3.1.3. CEMENTO

Densidad: En este trabajo de investigación se seleccionó el cemento Cemex, siendo uno de los más reconocidos en el país, para el cual se obtuvo una densidad de $2,9 \text{ g/cm}^3$, encontrándose dentro del rango establecido. El procedimiento de cálculo se encuentra en el anexo C.

$$\rho(\text{g/cm}^3) = 2,9 \text{ g/cm}^3$$

3.2. DISEÑO DE MEZCLA

A continuación, se muestran los diferentes diseños de mezclas empleados en este trabajo de investigación.

Diseño de mezcla 1. Muestra patrón: El diseño de mezcla correspondiente a los 9 cilindros de la muestra patrón se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 23. Diseño de mezcla para muestra patrón.

Diseño de mezcla		
Cemento	5,05	Kg
Agregado fino	12,92	Kg
Agregado grueso	18,77	Kg
Agua	3,82	L
Aditivo	24,74	g

Fuente: Autores.

Diseño de mezcla 2. Muestra con 0,4% de fibra: El diseño de mezcla correspondiente a los 9 cilindros de la muestra con 0,4% de fibra se muestra en la tabla presentada a continuación.

Tabla 24. Diseño de mezcla para muestra con 0,4% de fibra.

Diseño de mezcla		
Cemento	5,03	Kg
Fibra	20,19	g
Agregado fino	12,92	Kg
Agregado grueso	18,77	Kg
Agua	3,81	L
Aditivo	25,13	g

Fuente: Autores.

Diseño de mezcla 3. Muestra con 0,6% de fibra: El diseño de mezcla correspondiente a los 9 cilindros de la muestra con 0,6% de fibra se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 25. Diseño de mezcla para muestra con 0,6% de fibra.

Diseño de mezcla		
Cemento	5,02	Kg
Fibra	30,28	g
Agregado fino	12,92	Kg
Agregado grueso	18,77	Kg
Agua	3,81	L
Aditivo	25,08	g

Fuente: Autores.

Diseño de mezcla 4. Muestra con 0,8% de fibra: En la siguiente tabla se muestra el diseño de mezcla correspondiente a los 9 cilindros de la muestra con 0,8% de fibra.

Tabla 26. Diseño de mezcla para muestra con 0,8% de fibra.

Diseño de mezcla		
Cemento	5,01	Kg
Fibra	40,38	g
Agregado fino	12,92	Kg
Agregado grueso	18,77	Kg
Agua	3,80	L
Aditivo	25,03	g

Fuente: Autores.

3.3. ELABORACIÓN DE CILINDROS

3.3.1. ELABORACIÓN DE CILINDROS Y CURADO

El procedimiento de elaboración y curado de los cilindros se encuentra en el anexo D. Cada cilindro fue marcado con su respectivo porcentaje de fibra de bagazo de caña que contenía como muestra la siguiente ilustración.

Ilustración 9. Cilindros.



Fuente: Autores.

3.3.2. ASENTAMIENTO

Para la elaboración del asentamiento se utilizó el diseño de mezcla establecido en el presente trabajo y se ejecutó el procedimiento para la elaboración de cilindros, pero en el cono de Abrahams; el asentamiento se ejecutó una vez por cada porcentaje de fibra, es decir, 4 veces de 0%, 0,4%, 0,6% y 0,8% como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 27. Asentamientos

% de fibra	Asentamiento (cm)
0	4,5
0,4	3,7
0,6	4
0,8	4,3

Fuente: Autores.

Teniendo en cuenta la tabla 9 la cual establece los parámetros de asentamiento en el concreto simple, se determinó que los ensayos cumplen con los parámetros debido a que deben estar entre 3,5 cm y 5,0 cm.

3.4. CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE LOS CILINDROS

En este apartado se mostrará la mayor resistencia a la compresión de los cuatro diferentes porcentajes en tablas de caracterización resumidas y en el anexo E con toda la información pertinente de cada cilindro, adicionalmente se realizó una gráfica en la cual se expresa la carga máxima vs la edad de los cilindros. Por cada porcentaje de fibra de bagazo de caña de 0%, 0,4%, 0,6% y 0,8% se realizaron 9 cilindros, a los cuales se les practico el ensayo de resistencia a compresión a 3 cilindros en edades de 7, 14 y 28 días.

En la siguiente tabla se encuentran los resultados obtenidos en el laboratorio para la muestra patrón, esta muestra cumple con los parámetros de resistencia mínima para 3000 Psi a los 28 días:

Tabla 28. Resistencia a la compresión de la muestra patrón.

Descripción	Muestra patrón			
	Edad (días)	7	14	28
Carga máx. (kgf)		11.173,47	13.163,27	15.724,49
Carga máx. (PSI)		1.983,15	2.284,75	2.743,61

Fuente: Autores.

La muestra de 0,4% de fibra de bagazo de caña no cumple con el valor mínimo de resistencia para 3000 Psi a los 28 días como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 29. Resistencia a la compresión de la muestra con 0,4% de fibra.

Descripción	Muestra con 0,4% de fibra			
	Edad (días)	7	14	28
Carga máx. (kgf)		11.183,67	13.000,00	13.846,94
Carga máx. (PSI)		1.998,13	2.269,72	2.447,95

Fuente: Autores.

A continuación, se muestran los resultados de la resistencia a compresión para 0,6% de bagazo de caña, se establece que a los 28 días la muestra cumple con la resistencia mínima.

Tabla 30. Resistencia a la compresión de la muestra con 0,6% de fibra.

Descripción	Muestra con 0,6% de fibra		
Edad (días)	7	14	28
Carga máx. (kgf)	6.836,73	13.000,00	15.571,43
Carga máx. (PSI)	1.224,72	2.269,72	2.704,50

Fuente: Autores.

De acuerdo con la siguiente tabla la resistencia mínima a la compresión la muestra de 0,8% con fibra de bagazo de caña no cumple los parámetros.

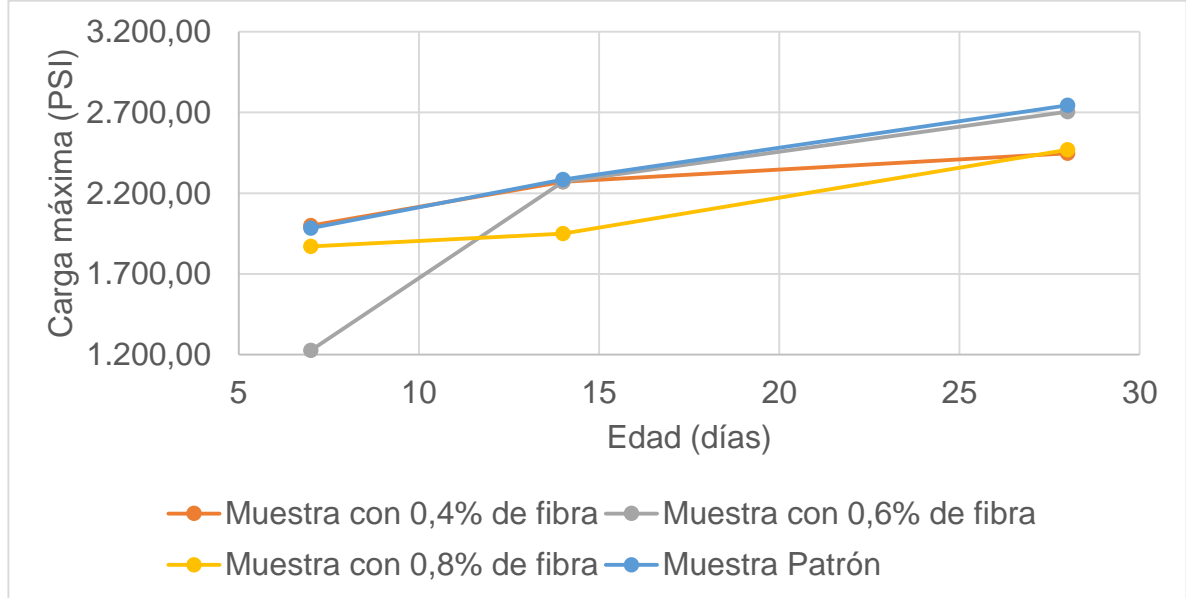
Tabla 31. Resistencia a la compresión de la muestra con 0,8 de fibra.

Descripción	Muestra con 0,8% de fibra		
Edad (días)	7	14	28
Carga máx. (kgf)	10.489,80	10.928,57	14.071,43
Carga máx. (PSI)	1.870,44	1.948,67	2.469,71

Fuente: Autores.

Según la siguiente grafica ninguno de los valores de resistencia de los diferentes porcentajes supera el valor obtenido con la muestra patrón, pero el porcentaje de 0,6% de fibra de bagazo de caña es el más cercano y que cumple con los parámetros mínimos de resistencia a compresión.

Ilustración 10. Carga máxima (PSI) Vs Edad (días).



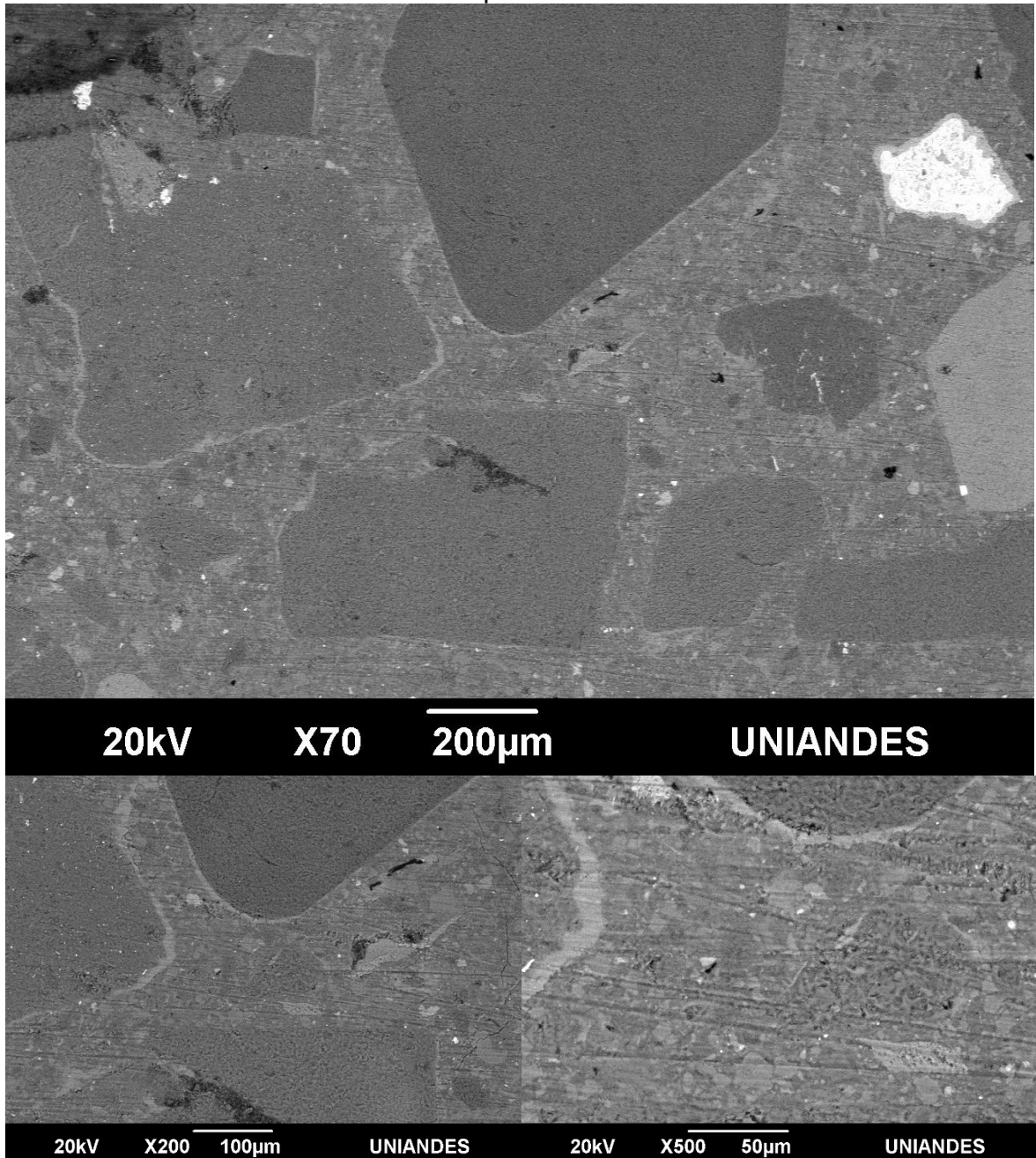
Fuente: Autores.

3.5. MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO (SEM)

Las imágenes SEM presentadas a continuación fueron tomadas en el laboratorio de Microscopía Electrónica de Barrido ubicado en la Universidad de los Andes. Para realizar este ensayo se realizó una preparación previa a las muestras, dicha preparación consta de lijar cada muestra con once lijas diferentes, limpiando y secando al cambiar el tipo de lija, con el fin de obtener una superficie lisa y libre de impurezas. Las muestras preparadas para el ensayo SEM fueron tomadas de los cilindros ensayados a compresión con una edad de 28 días.

En la ilustración del ensayo de SEM de la muestra patrón que se encuentra a continuación, se identifica la diferencia entre la matriz cementante y el agregado, ya que la matriz cementante se visualiza de un color más claro que el del agregado. Además, es posible evidenciar una línea divisoria entre unos agregados y la matriz cementante, lo que indica una desfavorable adherencia entre sí.

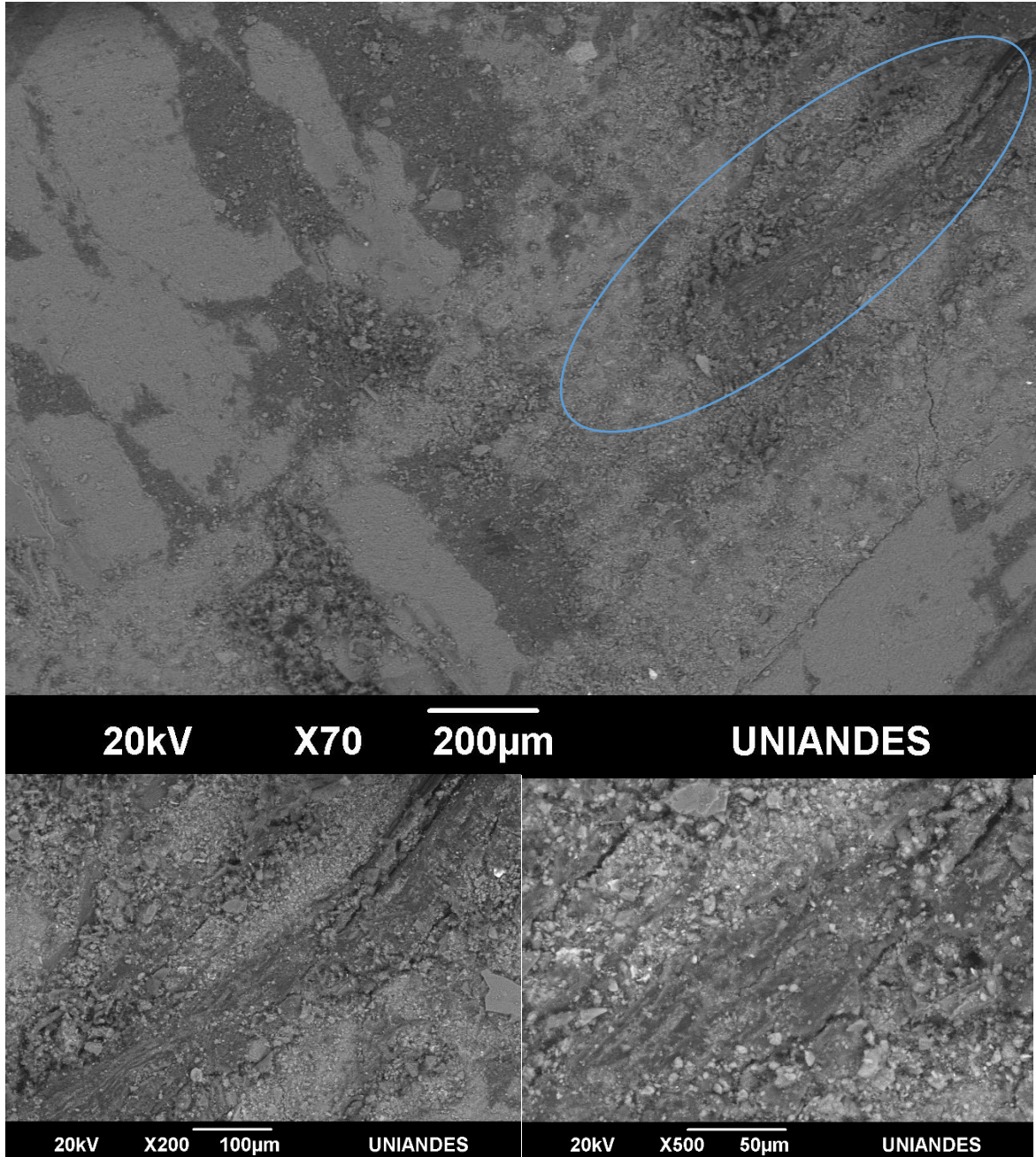
Ilustración 11. SEM concreto muestra patrón.



Fuente: SEM Universidad de los Andes.

En la siguiente ilustración, correspondiente a la muestra con 0,4 % de fibra de bagazo de caña, se puede evidenciar parte de la fibra, donde se observa una buena adherencia entre la fibra y la matriz cementante, por otro lado, se visualizan residuos del tratamiento previo de la muestra acumulados alrededor de la fibra.

Ilustración 12. SEM concreto muestra A con 0,4 % de fibra.

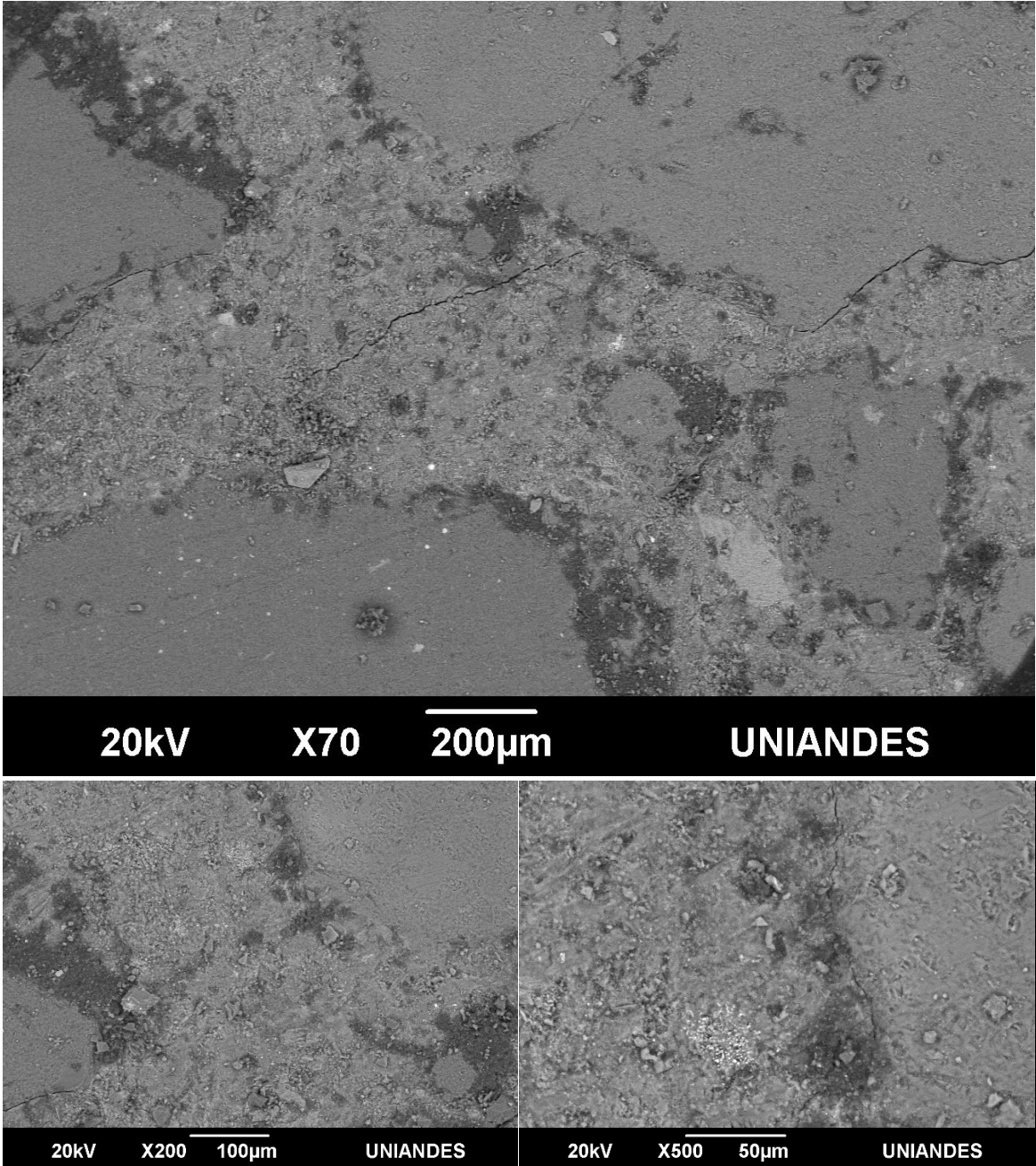


Fuente: SEM Universidad de los Andes.

A continuación, se expone la ilustración del ensayo SEM para la muestra con 0,4 % de fibra de bagazo de caña, donde se observa que entre el agregado y la matriz cementante hay buena adherencia existente debido a que no se observa una línea divisoria entre dichos materiales. Además, se visualizan microfisuras, las cuales pudieron ser ocasionadas por la contracción en el tiempo de fraguado o por el

proceso de pulido de la muestra. Dicha presencia de grietas en la interfaz sugiere que este es el enlace más débil en el concreto.

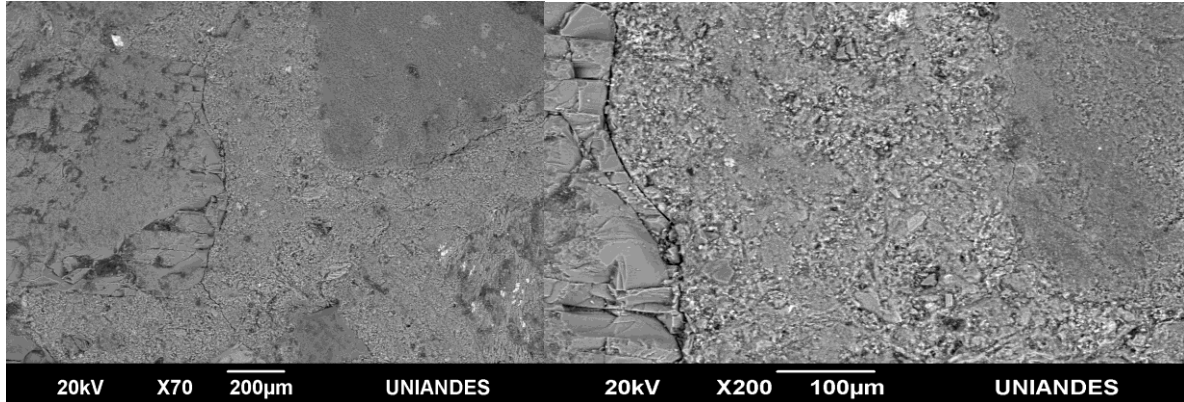
Ilustración 13. SEM concreto muestra B con 0,4 % de fibra.



Fuente: SEM Universidad de los Andes.

La relación interfacial entre agregado y matriz cementante es deficiente, razón por la cual se observa un agrietamiento significativo alrededor de los granos de agregado en la muestra con 0,6% de fibra de bagazo de caña, esto se puede evidenciar en la siguiente ilustración. También es importante resaltar la presencia de partículas residuales producto de la preparación de la muestra para el ensayo de laboratorio SEM.

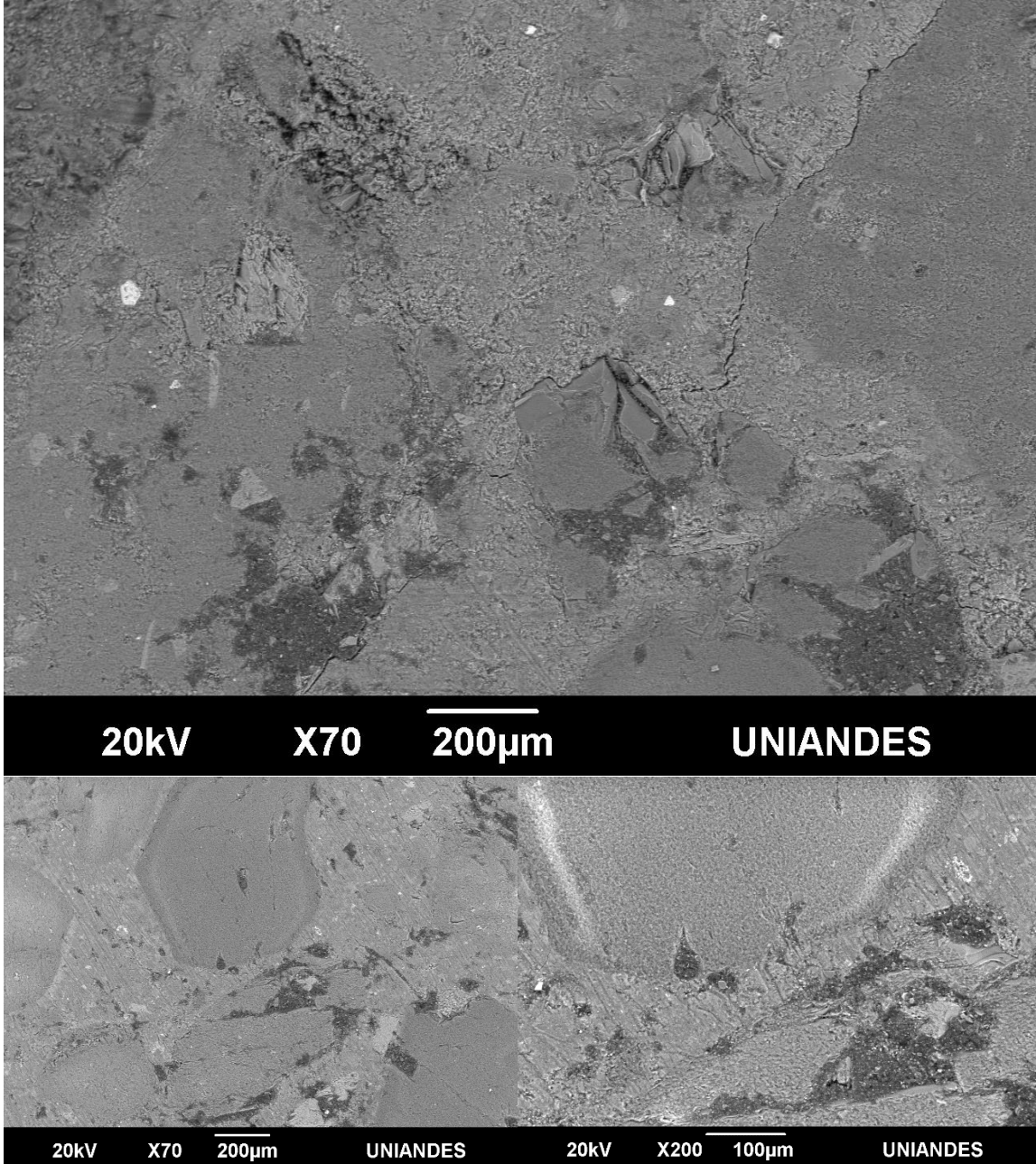
Ilustración 14. SEM concreto muestra A con 0,6 % de fibra.



Fuente: SEM Universidad de los Andes.

Para la muestra de 0.6% de fibra de bagazo de caña mostrada en la siguiente ilustración, se puede evidenciar 2 tipo de interfaz como lo es aquella en que se presentan líneas de color blanco las cuales a su vez generan un agrietamiento entre el agregado y la matriz cementante. El segundo tipo de interfaz que se identifica es bueno ya que no presenta diferencias de color ni agrietamiento de ningún tamaño.

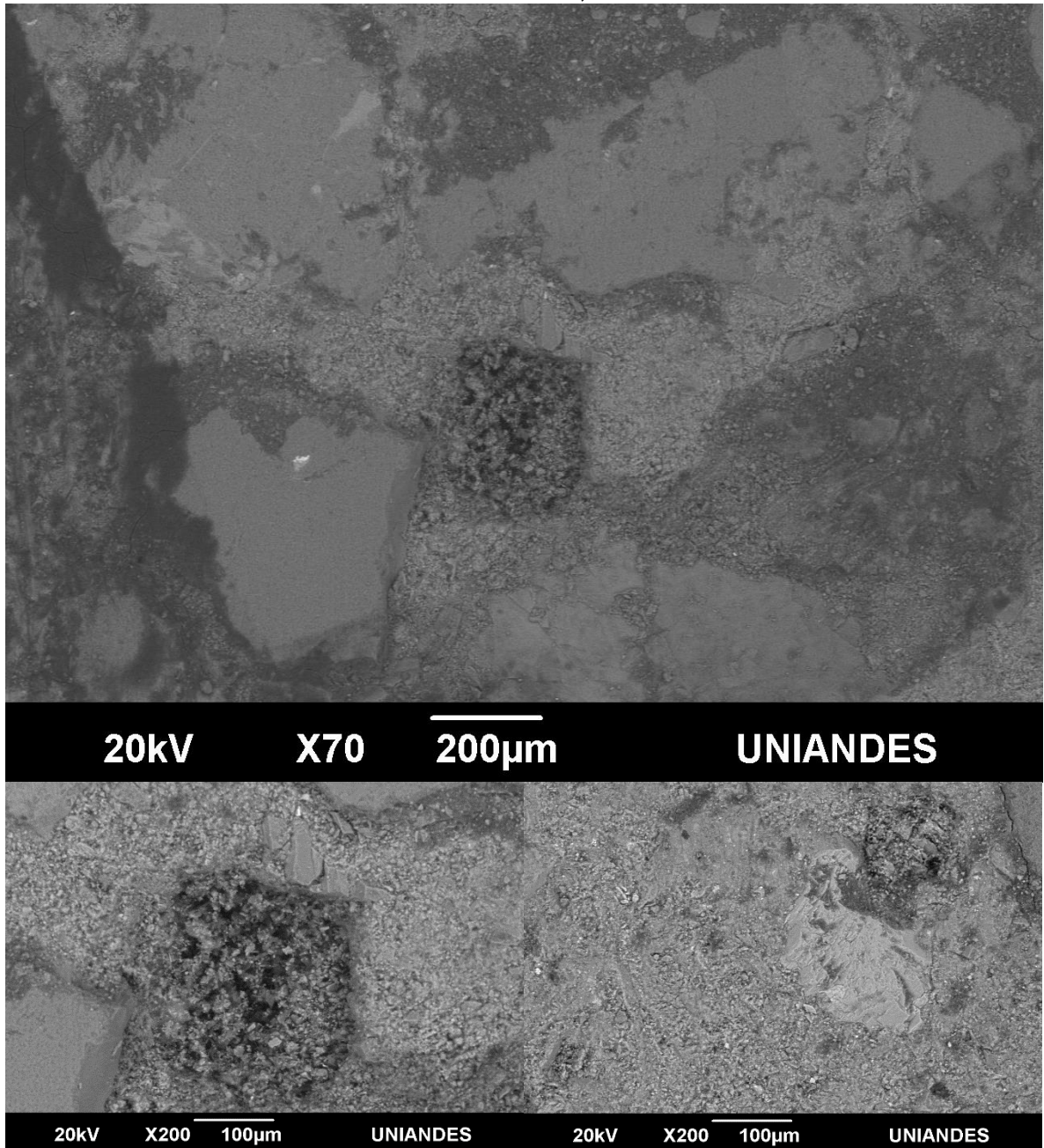
Ilustración 15. SEM concreto muestra B con 0,6 % de fibra.



Fuente: SEM Universidad de los Andes.

En la ilustración de 0,8% de fibra de bagazo de caña mostrada a continuación, se puede observar la presencia de la sección transversal de fibra y una buena adherencia con la matriz cementante, de igual forma se puede identificar como el agregado tiene una zona de interacción interfacial satisfactoria debido a su buena adherencia.

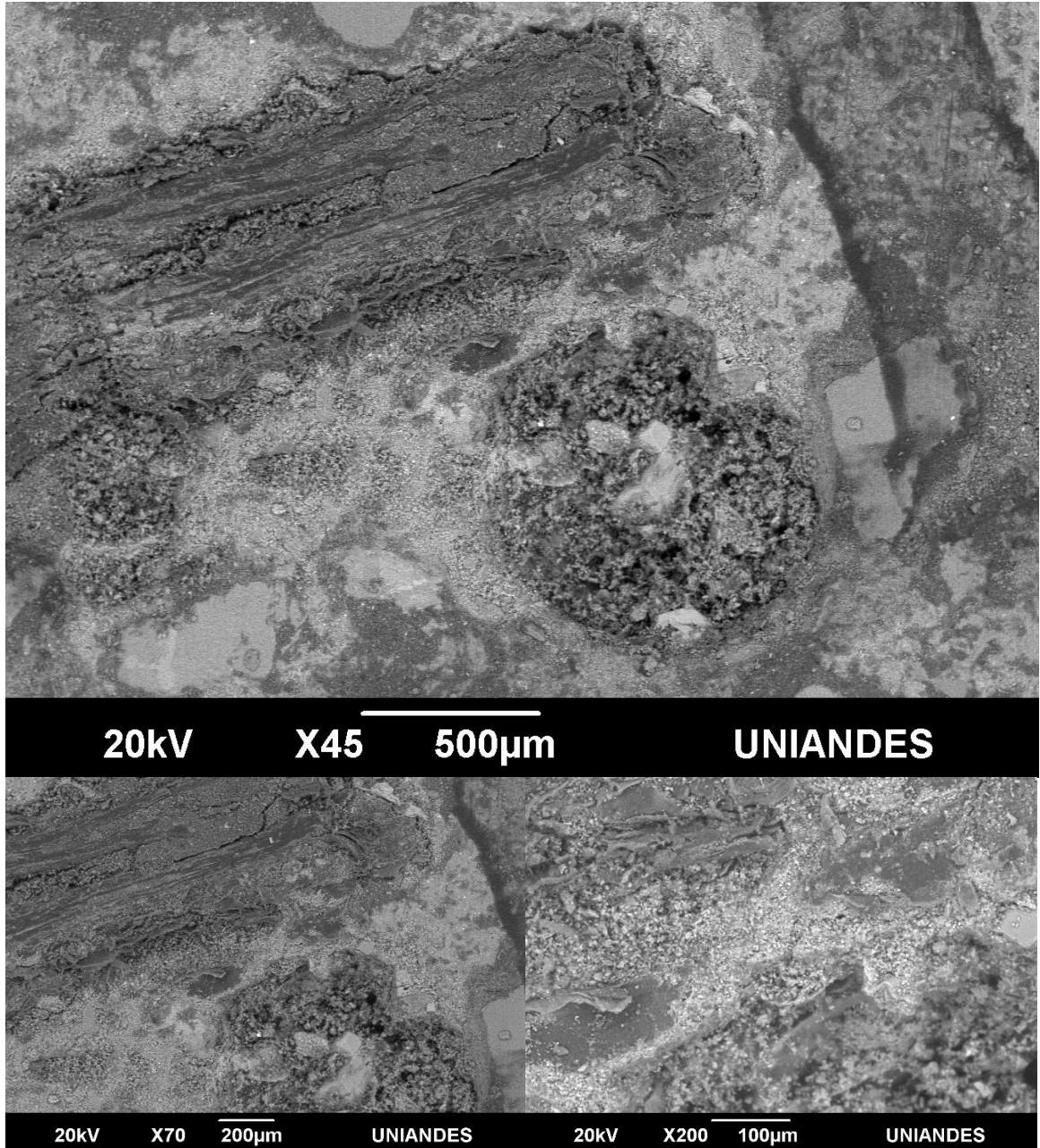
Ilustración 16. SEM concreto muestra A con 0,8% de fibra.



Fuente: SEM Universidad de los Andes.

En la siguiente ilustración de la muestra de 0,8% de fibra de bagazo de caña se observan 2 partículas de fibra una en forma transversal y otra de forma longitudinal, en las dos se puede identificar la buena adherencia con la matriz cementante

Ilustración 17. SEM concreto muestra B con 0,8 % de fibra.



Fuente: SEM Universidad de los Andes.

CONCLUSIONES

Por medio del presente trabajo de investigación se concluye que es de gran importancia el desarrollo de nuevos materiales que contribuyan al mejoramiento de los materiales convencionales implementados en la construcción de modo que minimicen el impacto ambiental sin que se pierdan las propiedades fundamentales de las materias primas, como lo es el concreto. Es por esto que en este trabajo de investigación se sustituyó un porcentaje del peso de cemento por fibra de bagazo de caña, evaluando como se afecta la resistencia a la compresión con diferentes porcentajes de adición de fibra de bagazo de caña.

De acuerdo con las ilustraciones obtenidas por medio del ensayo de laboratorio SEM, se pudo identificar que la fibra de bagazo de caña presenta una buena adherencia con respecto a la matriz cementante, por tanto, se puede concluir que la fibra de bagazo de caña es un material alternativo factible para implementarse en la mezcla del concreto.

Con los resultados obtenidos en los ensayos a compresión se observó que el porcentaje más óptimo y que cumple con los parámetros mínimos de resistencia a la compresión establecidos en la NSR-10, corresponde a la muestra de concreto con 0,6% de fibra de bagazo de caña de azúcar, por lo cual se concluye que es viable la adición de dicho porcentaje de fibra de bagazo de caña en la mezcla de concreto de 3000 psi.

Teniendo en cuenta la resistencia a la compresión a lo largo de las tres edades estudiadas (7, 14 y 28 días) la muestra de concreto con 0,8% de adición de fibra de bagazo de caña presento valores de resistencia a la compresión inferiores con respecto a las demás muestras, además dichos valores no cumplieron con los parámetros mínimos establecidos por la NSR-10, por tanto, se llegó a la conclusión de que este porcentaje es desfavorable en la implementación de la mezcla de concreto de 3000 psi.

RECOMENDACIONES

Se recomienda estudiar la adición de fibra de bagazo de caña de azúcar en el concreto como refuerzo a tensión y cortante debido a que en el presente trabajo de investigación no se evaluó dicho parámetro.

La extracción de las fibras de bagazo de caña requiere de una gran cantidad de tiempo para obtener pequeñas cantidades de peso, es por esto que se recomienda usar el bagazo de caña como agregado del concreto en una forma física diferente a fibra.

En base a los resultados se recomienda la implementación del concreto con adición de fibra de bagazo de caña en elementos prefabricados livianos tales como ladrillos, laminas, etc.

BIBLIOGRAFÍA

Agencia Iberoamericana para la difusión de la ciencia y la tecnología. 2014. Bagazo de caña, posible componente de concreto hidráulico. 13 de 02 de 2014.

Arévalo, Alvarado, y otros. 2016. Estudio del empleo de cenizas producidas en ingenios azucareros como sustituto parcial del cemento portland en el diseño de mezclas de concreto. s.l., El Salvador : UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR, Agosto de 2016. pág. 286.

Asocala. 2017. El Sector Azucarero Colombiano En La Actualidad. [En línea] 2017. <http://www.asocana.org/publico/info.aspx?Cid=215>.

BABILONIA ESCALLÓN, INDIRA: URANGO ROJAS, SANDY PAOLA. 2015. EL USO DE ADITIVOS DE ORIGEN NATURAL INTEGRAL A MASAS DE CONCRETO PARA LA PROTECCIÓN CONTRA LA CORROSIÓN DEL ACERO ESTRUCTURAL EMBEBIDO (CASO DE ESTUDIO: SÁBILA). Trabajo de grado Ingeniero Civil. Cartagena de Indias : Universidad de Cartagena, 2015. pág. 124.

Barbosa Galeano, Cristian Gerardo y Mayorga Rojas, Juan Sebastian. 2015. Caracterización mecánica del concreto reforzado con fibras de fique modificando la matriz cementicia con aditivo a base de humo de sílice. Trabajo de grado Ingeniero Civil. Bogotá : Universidad Piloto de Colombia, 2015. pág. 182.

Bolívar, Orlando. 1987. Guía práctica para el diseño de mezclas de hormigón. Medellín : Universidad Nacional de Colombia, 1987. págs. 119-120.

Brandt, Fabiola. 2008. Capitulo IV. Análisis mediante Microscopía Electrónica de Barrido. Comportamiento del hormigón que tiene entre sus componentes moléculas de nanosílice, ante el ataque químico de sulfato de magnesio. Valdivia : Universidad Austral de Chile, 2008, págs. 91-147.

Castiblanco Sarmiento, Cristian David y Carrero Bastos, Luis Anderson. 2015. Estudio teórico y experimental del comportamiento del hormigón con materiales no convencionales: fibras de vidrio y fibras de carbono, sometido a esfuerzos de compresión. Bogotá : Universidad Católica de Colombia, 2015. pág. 88.

Castro, Valencia, Andres, Plinio y Dario, Quintana Cruz. Cristian. 2016. Análisis comparativo entre el concreto simple y el concreto con adición de fibra de acero al 12% y 14%. Bogotá : Universidad Católica de Colombia, 2016. pág. 52.

Cemex. 2017. Cemex. Productos. Cemento. [En línea] 2017. <https://www.cemex.com/es/productos-servicios/productos/cemento>.

Ceniza de bagazo de caña para elaboración de materiales de construcción: estudio preliminar. **Vidal, Diana V., Torres, Janneth y González, Luis O. 2014.** 48E, Valle del Cauca : s.n., Julio de 2014, Revista de Física, págs. 14-23.

Cenizas de coco y hoja de pino para su uso como puzolana. **Hernández Toledo, Ur Iván, Alavez Ramírez, Rafael y Montes García, Pedro. 2009.** 2, s.l. : Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, 10 de Diciembre de 2009, Naturaleza y Desarrollo, Vol. 7, págs. 33-44.

Civilgeeks.com. 2011. Civilgeeks Ingeniería y construcción. Naturaleza del concreto. [En línea] 02 de Diciembre de 2011. <https://civilgeeks.com/2011/12/04/naturaleza-del-concreto/>.

Comparative environmental life-cycle analysis of concretes using biomass and coal fly ashes as partial cement replacement material. **Teixeira, Elisabete R., y otros. 2015.** 112, 14 de Octubre de 2015, Journal of Cleaner Production, págs. 2221-2230.

Comportamiento mecánico del concreto reforzado con fibras de bagazo de caña de azúcar. **Osorio Saraz, Jairo Alexander, Varón Aristizabal, Fredy y Herrera Mejía, Jhonny Alexander. 2007.** 153, Medellín : Universidad Nacional de Colombia, 28 de Febrero de 2007, Dyna, págs. 69-79.

Concretes containing biomass ashes: Mechanical, chemical, and ecotoxic performances. **Barbosa, Rui, y otros. 2013.** 08 de Agosto de 2013, Construction and Building Materials, Vol. 48, págs. 457-463.

CONCRETO HIDRÁULICO MODIFICADO CON SÍLICE OBTENIDA DE LA CASCARILLA DEL ARROZ. **Camargo Pérez, Nelson Ricardo y Higuera Sandoval, Carlos Hernando. 2016.** 1, s.l. : Scielo, Junio-Octubre de 2016, Ciencia e Ingeniería Neogranadina, Vol. 27, págs. 91-109.

Construdata. Historia del Concreto. [En línea]
<http://www.construdata.com/VitrinaComercial/Anuncian/8/86000980/Capitulos/05/05.htm>.

Construmatica. Construmatica. Arquitectura, ingeniería y construcción. [En línea]
<https://www.construmatica.com/construpedia/Cemento>.

Construmática, Construpedia. Fisura. Diccionario de Construcción. [En línea]
<https://www.construmatica.com/construpedia/Fisura>.

Construmática, Construpedia. Grietas. [En línea]
<https://www.construmatica.com/construpedia/Grietas>.

Contribution of plant fibers in improving the behavior and capacity of reinforced concrete for structural applications. **Farooqi, Muhammad Usman y Ali, Majid. 2018.** 18 de Junio de 2018, Construction and Building Materials, Vol. 182, págs. 94-107.

EDUCALINGO. 2019. Ceniza. [En línea] Marzo de 2019.
<https://educalingo.com/es/dic-es/ceniza>.

Effect of mechanical processing on sugar cane bagasse ash pozzolanicity. **Cordeiro, Guilherme C. y Kurtis, Kimberly E. 2017.** Julio de 2017, Cement and Concrete Research, Vol. 97, págs. 41-49.

Effect of super plasticizer on the properties of medium strength concrete prepared with coconut fiber. **Khan, Mehran y Ali, Majid. 2018.** Septiembre de 2018, Construction and Building Materials, Vol. 182, págs. 703-715.

España, Carlos y Molina, Leidy. 2013. Evaluación de la resistencia de una mezcla de concreto al adicionarle fibra natural tipo bagazo de caña. Trabajo de grado Ingeniero Civil. San Juan de Pasto : Universidad de Nariño, 2013. pág. 95.

Espinoza Carvajal, Marlon Jonatan. 2015. COMPORTAMIENTO MECANICO DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRA DE BAGAZO DE CAÑA DE AZUCAR. Tesis maestría. Cuenca : Universidad de Cuenca, 2015. pág. 189.

ESTUDIO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN EN MEZCLAS DE CONCRETO, SUSTITUYENDO EL 10% EN PESO DE CEMENTO POR CENIZAS DE LAS HOJAS SECAS DE LA PALMA CHAGUARAMO COMO MATERIAL PUZOLÁNICO. **Freites, Antonio, y otros. 2013.** 1162, s.l. : Universidad Central de Venezuela, Marzo de 2013, Tecnología del Concreto.

EUROREP Maquinaria para Concreto y Trituración. 2009. Curado del concreto. [En línea] 2009. <http://www.eurorep.com.mx/articulo-curado-del-concreto.shtml>.

Evaluating the effects of sugar cane bagasse ash (SCBA) and nanosilica on the mechanical and durability properties of mortar. **Joshaghani, Alireza y Amin Moeini, Mohammad. 2017.** 15 de Octubre de 2017, Construction and Building Materials, Vol. 152, págs. 818-831.

Evaluation of mechanical properties of Sugar Cane Bagasse Ash concrete. **Jagadesh, P., Ramachandramurthy, A. y Murugesan, R. 2018.** 14 de Mayo de 2018, Construction and Building Materials, Vol. 176, págs. 608-617.

Gaitán Arévalo, Juniet Rebeca y Tórrez Rivas, Belkiss Jessenia. 2013. Influencia de la ceniza de bagazo de caña de azúcar proveniente del ingenio Monte Rosa sobre las propiedades físico-mecánicas y de durabilidad de morteros de cemento Tipo Gu. Managua, Nicaragua : Universidad Nacional de Ingeniería, 2013. pág. 101.

Galicia Pérez, Mónica Alexandra y Velásquez Curo, Marco Antonio. 2016. ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE UN CONCRETO ADICIONADO CON CENIZA DE RASTROJO DE MAÍZ ELABORADO CON AGREGADOS DE LAS CANTERAS DE CUNYAC Y VICHU CON RESPECTO A UN CONCRETO PATRÓN DE CALIDAD $f'c=210$ KG/CM². Trabajo de grado Ingeniero Civil. Cusco, Perú : Universidad Andina del Cusco, 2016. pág. 162.

García, Olga. 2018. Calidad e innovación en la construcción es imprescindible para Colombia. [ed.] Instituto de Estudios urbanos - IEU. [prod.] Universidad Nacional de Colombia. 08 de Mayo de 2018.

Glosario Ingeniería Civil. 2017. Concreto (material). [En línea] 03 de Diciembre de 2017. <https://glosarios.servidor-alicante.com/ingenieria-civil/concreto-material>.

Guerrero Vargas, Diego Alexander y Chaves García, Didier Alberto. 2013. Evaluación de las propiedades mecánicas de concreto simple (3000psi) utilizando ceniza como porcentaje del cemento. Bucaramanga, Colombia : Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga, 2013. pág. 78.

Huánuco Albornoz, Kattia Ybeth. 2017. EVALUACIÓN DE LA TRABAJABILIDAD Y LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO DE 210° REFORZADO CON FIBRA DE LECHUGUILLA. Trabajo de grado Ingeniero Civil. Huánuco, Perú : Universidad de Huánuco, 2017. pág. 333.

IDU. 2018. Instituto de desarrollo urbano. [En línea] 2018. <https://www.idu.gov.co/page/siipviales/economico/portafolio>.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN (ICONTEC). 2000. Elaboración y curado de especímenes de concreto en obra. NTC 550. Bogotá D.C. : INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN (ICONTEC), 2000. Vol. Segunda actualización, pág. 13.

—. **2012.** Ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto. Tercera actualización NTC 673. Bogotá D.C. : INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN (ICONTEC), 2012. pág. 17.

—. Método de ensayo para determinar la densidad del cemento hidráulico. Segunda actualización NTC 221. Bogotá D.C. : INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN (ICONTEC). pág. 8.

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD Y LA ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO. Primera actualización NTC 176. Bogotá D.C., Colombia : Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). pág. 14.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN (ICONTEC). MÉTODO DE ENSAYO PARA EL ANÁLISIS POR TAMIZADO DE LOS AGREGADOS FINOS Y GRUESOS. Segunda actualización NTC 77. Bogotá D.C. : Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). pág. 10.

—. **2001.** Método para determinar la densidad y la absorción del agregado fino. Primera actualización NTC 237. Bogotá D.C. : INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN (ICONTEC), 2001. pág. 13.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN (ICONTEC). Método de ensayo para determinar el asentamiento del concreto. Primera edición NTC 396. Bogotá D.C. : INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN (ICONTEC). pág. 6.

JARAMILLO ZAPATA, LEYLA YAMILE. 2009. Evaluación del jugo de fique como aditivo ocluser de aire y su influencia en la durabilidad y resistencia del concreto. Tesis de maestría. Medellín : Universidad Nacional de Colombia, 2009. pág. 127.

Jiménez Quero, M. C. Víctor Guillermo. 2013. Comportamiento mecánico del concreto reforzado con fibras de bagazo de caña de azúcar. Chihuahua, México : CIMAV, Abril de 2013. pág. 172.

La ceniza de cascarilla de arroz y su efecto en adhesivos tipo mortero. **Novoa, Martha, Becerra, Luisa y Vásquez, María. 2016.** Bogotá : Universidad Libre, 30 de Noviembre de 2016.

La construcción sostenible. **Ramírez, Aurelio. 2008.** s.l. : Consejo de la Construcción Verde, 2008, Física y Sociedad, Vol. 13, págs. 30-33.

La influencia de las cenizas de bagazo de caña de azúcar como reemplazo parcial del cemento en la resistencia a la compresión de los morteros. **Berenguer, R. A., y otros. 2018.** 8, Brasil : s.n., 30 de 01 de 2018, ALCONPAT, Vol. 1, págs. 30-37.

Larrahondo, Jesús E. 2008. Calidad de la Caña de Azúcar. [En línea] 2008. http://www.cenicana.org/pdf/documentos_no_seriadados/libro_el_cultivo_cana/libro_p337-354.pdf.

LATORRE CAÑÓN, ANDRÉS, DELRIEU ALCARAZ, JUAN CARLOS y RODRIGUEZ SANMIGUEL, NARCISO. 2008. LA INDUSTRIA DEL CEMENTO EN COLOMBIA DETERMINANTES Y COMPORTAMIENTO DE LA DEMANDA. Bogotá, Colombia : Pontificia Universidad Javeriana, Mayo de 2008. pág. 53.

LÓPEZ, LIBIA GUTIÉRREZ DE. 2003. EL CONCRETO Y OTROS MATERIALES. MANIZALES : Centro de Publicaciones. Universidad Nacional de Colombia , 2003.

Mechanical properties of lightweight concrete made with coal ashes after exposure to elevated temperatures. **Ahn, Y.B., Jang, J.G. y Lee, H.K. 2016.** 01 de Junio de 2016, Cement and Concrete Composites, Vol. 72, págs. 27-18.

Mechanical properties of the concrete containing recycled fibers and aggregates. **Ahmadi, Mohsen, y otros. 2017.** Abril de 2017, Construction and Building Materials, Vol. 144, págs. 392-398.

Ochoa Botero, Juan Carlos. 2009. Uso del licor de plantas agavaceas como aditivo en morteros y hormigones. Tesis doctoral. Valencia, España : Universidad Politécnica de Valencia, 2009. pág. 343.

Olmo, Oscar Almazán del. 2013. El bagazo de la caña de azúcar. Propiedades, constitución y potencial. [En línea] 2013. http://karin.fq.uh.cu/acc/2016/CIENCIAS_TECNICAS/032/New/Documentaci%C3%B3n/Parte%20V/Parte%20V.pdf.

Patología + rehabilitaciones + construcción. 2012. La microscopía electrónica de barrido SEM (I) Concepto y usos. 2012.

Peláez, Juan Diego León. 2002. Evaluación del impacto ambiental de proyectos de desarrollo. [En línea] 2002. <http://bdigital.unal.edu.co/1706/1/71688714.20021.pdf>.

Pontificia Universidad Javeriana. 2018. LISTADO DE PRECIOS 2018. [En línea] 2018. <http://ingenieria.javeriana.edu.co/documents/7508381/0/Lista+de+Precios+laboratorios+2018.pdf/c968dd39-258c-4d45-a233-bfb0fbff7e14>.

Porras, María Eugenia. 2013. Evaluación de la incorporación de celulosa de bagazo de caña en la síntesis de espumas de poliuretano. Trabajo de grado para optar el título de Ingeniero Químico. Medellín : Universidad pontificia bolivariana, 2013. pág. 93.

Prada, Henry Blanco. 2012. GLOSARIO DE TERMINOS (Ingeniería civil). [En línea] Mayo de 2012. https://www.academia.edu/7799970/GLOSARIO_DE_TERMINOS_Ingenier%C3%ADa_civil.

—. **2011**. Glosario Ingeniería Civil. Maracay : Instituto Universitario Politécnico Santiago Mariño, Julio de 2011.

Production of carboxymethyl lignin from sugar cane bagasse: A cement retarder additive for oilwell application. **Santos Moreira, Paulo Henrique Silva, y otros. 2018**. Junio de 2018, Industrial Crops and Products, Vol. 116, págs. 144-149.

Properties of sugarcane fiber on the strength of the normal and lightweight concrete. **Khalid, Faisal Sheikh, Herman, Herman Shah y Azmi, Nurul Bazilah. 2017**. 2017, MATEC.

Residuos agroindustriales como adiciones en la elaboración de bloques de concreto no estructural. **Fuentes Molina, Natalia, Fragozo Tarifa, Oscar Iván y Vizcaino Mendoza, Lissette. 2015**. 2, s.l. : Scielo, Marzo-Septiembre de 2015, Ciencia e Ingeniería Neogranadina, Vol. 25, págs. 99-116.

Residuos profesional. 2017. Residuos de la caña de azúcar para producir papel reciclado, películas y geles. s.l. : Innovación e Investigación, 16 de Mayo de 2017.
Rice husk ash – pozzolanic material for sustainability. **Kartini, k. 2011**. 6, Malaysia : s.n., Noviembre de 2011, International Journal of Applied Science and Technology, Vol. 1, págs. 169-178.

Rivera L., Gerardo A. 2010. Capítulo 10. Proporciones en volumen suelto. Concreto simple. Cauca : Universidad del Cauca, 2010, págs. 219-229.

Rocha, S. Construaprende. Practica 17: Densidad y absorción del agregado.

S.A.S., Sika Colombia. 2014. Aditivos para concreto. 2014. págs. 3-7.

—. **2014**. Aditivos para concreto. 2014. págs. 3-7.

—. **2018**. Plastocrete® DM. 2018. págs. 1-2.

Sabanés Hernández, María Alethia. 2013. Uso de No Tejidos de Fibras Vegetales en Matrices de Cemento para Materiales de Construcción. Tesis maestría. Barcelona : Universidad Politécnica de Cataluña, Junio de 2013. pág. 60.

Salazar J., Alejandro. 2012. ¿QUÉ ES UNA PUZOLANA? 2012.

Sanchez, D. G. 2001. Tecnología del concreto y del mortero. Quinta (5). Bogotá D.C. : Quebecor World Bogotá S.A., 2001.

Soluciones Especiales.Net. 2010. Glosario general. [En línea] Creative commons España, 2010. <http://www.solucionesespeciales.net/Index/Glosario/Glosario.asp>.

STUDIES ON MECHANICAL PROPERTIES OF CONCRETE USING SUGARCANE BAGASSE ASH (SCBA). **Shivakumar, S, Karthik, M y Sidramappa, S. 2012.** 2012, Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE), págs. 33-37. ISSN: 2278-1684.

Sugar cane bagasse ash as a pozzolanic material. **Mansaneira, Emerson Carlos, y otros. 2017.** 201, Junio de 2017, DYNA, Vol. 84, págs. 163-171.

Terreros Rojas, Luis Eduardo y Carvajal Corredor, Iván Leonardo. 2016. Análisis de las propiedades mecánicas de un concreto convencional adicionando fibra de cáñamo. Trabajo de grado Ingeniero Civil. Bogotá : Universidad Católica de Colombia, 2016. pág. 84.

Tupa Ortiz, Alberto Mijail. 2018. Concreto Estructural Liviano Con Escoria Y Ceniza Volcánicas Del Distrito De Yura. Trabajo de grado Ingeniero Civil. Arequipa, Perú : Universidad Nacional de San Agustín, 2018. pág. 245.

Ucha, Florencia. 2015. Definición ABC. Fibras Naturales. [En línea] Octubre de 2015. <https://www.definicionabc.com/general/fibras-naturales.php>.

Uniandes. 2017. Microscopía de Barrido de Electrones (MEB). Bogotá D.C. : s.n., 2017.

Universidad de los Andes. 2018. Reservas y tarifas. [En línea] 2018. <https://investigaciones.uniandes.edu.co/es/reservas-y-tarifas/>.

Usage of sugarcane bagasse as an additive in building materials. **Yahya, Muhamad Azani, y otros. 2015.** Malaysia : s.n., 20 de Abril de 2015, Trans Tech Publications, Vols. 754-755, págs. 369-372.

Using spent fluid catalytic cracking (FCC) catalyst as pozzolanic addition. **Castellanos, Torres y Nancy, Torres Agredo, Janneth. 2010.** 2, s.l. : Universidad Nacional de Colombia, Junio de 2010, Ingeniería e Investigación, Vol. 30, págs. 35-42.

Uso de fibra de estopa de coco para mejorar las propiedades mecánicas del concreto. **Quintero García, Sandra Liliana y González Salcedo, Luis Octavio. 2006.** 20, Barranquilla : s.n., Julio-Diciembre de 2006, Ingeniería y Desarrollo, págs. 134-150.

Uso de fibras naturales de lechuguilla como refuerzo en concreto. **Juárez Alvarado, César A. y Rodríguez López, Patricia. 2004.** 22, Enero-Marzo de 2004, Ingenierías, Vol. VII, págs. 07-19.

Uso de la cascarilla de arroz como material alternativo en la construcción. **Mafla B., Andrés. 2009.** 6, Mayo de 2009, Inventum, págs. 74-48.

Uso del jugo de fique como aditivo orgánico en el hormigón. **OCHOA, JUAN CARLOS y JARAMILLO, LEYLA. 2007.** 36, s.l. : Universidad Tecnológica de Pereira, Septiembre de 2007, Scientia et Technica, Vol. 1, págs. 455-459.

Utilización de la ceniza volante en la dosificación del concreto como sustituto del cemento. **Huaquisto Cáceres, Samuel y Belizario Quispe, Germán. 2018.** 2, s.l. : Scielo, Mayo-Junio de 2018, Altoandin , Vol. 20, págs. 225-234.

Utilization of sodium waterglass from sugar cane bagasse ash as a new alternative hardener for producing metakaolin-based geopolymer cement. **Tchakoutéa, Hervé Kouamo, y otros. 2017.** 2, Mayo de 2017, Chemie der Erde, Geochemistry, Vol. 77, págs. 257-266.

ANEXOS

ANEXO A. CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE AGREGADO GRUESO.

1. DENSIDAD Y ABSORCIÓN DE AGREGADO

Ilustración 18. Ensayo de densidad y absorción de agregado grueso.



Fuente: Autores.

1.1. DENSIDAD APARENTE:

La densidad aparente se calcula con la siguiente ecuación:

$$D_s = 0,9975 \times A / (B - C)$$

Donde:

A: Masa en el aire de la muestra de ensayo secada al horno (g).

B: Masa en el aire de la muestra de ensayo saturada y superficialmente seca (g).

C: Masa en el agua de la muestra de ensayo saturada (g).

$$D_s = 0,9975 \times 1779,50 / (1994 - 1211)$$

$$D_s = 2,17 \text{ g/cm}^3$$

1.2. DENSIDAD:

La densidad se obtiene por medio de la siguiente formula:

$$D_s \text{ Saturada y Superficialmente Seca} = 0,9975 \times B / (B - C)$$

Donde:

A: Masa en el aire de la muestra de ensayo secada al horno (g).

B: Masa en el aire de la muestra de ensayo saturada y superficialmente seca (g).

C: Masa en el agua de la muestra de ensayo saturada (g).

$$D_s \text{ Saturada y Superficialmente Seca} = 0,9975 \times 1994 / (1994 - 1211)$$

$$D_s \text{ Saturada y Superficialmente Seca} = 2,54 \text{ g/cm}^3$$

1.3. DENSIDAD NOMINAL:

La densidad nominal se calcula por medio de la siguiente ecuación:

$$D_s \text{ nominal} = 0,9975 \times A / (A - C)$$

Donde:

A: Masa en el aire de la muestra de ensayo secada al horno (g).

B: Masa en el aire de la muestra de ensayo saturada y superficialmente seca (g).

C: Masa en el agua de la muestra de ensayo saturada (g).

$$D_s \text{ nominal} = 0,9975 \times 1779,5 / (1779,5 - 1211)$$

$$D_s \text{ nominal} = 3,12 \text{ g/cm}^3$$

1.4. ABSORCIÓN:

Para obtener el porcentaje de absorción se aplica la siguiente ecuación:

$$\text{Absorción (\%)} = [(B - A) / A] \times 100$$

Donde:

A: Masa en el aire de la muestra de ensayo secada al horno (g).

B: Masa en el aire de la muestra de ensayo saturada y superficialmente seca (g).

$$\text{Absorción (\%)} = [(1994 - 1779,5)/1779,5] \times 100$$

$$\text{Absorción (\%)} = 12,05\%$$

ANEXO B. CARACTERIZACIÓN FÍSICA DEL AGREGADO FINO

1. DENSIDAD Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO

Ilustración 19. Ensayo de densidad y absorción de agregado fino.



Fuente: Autores.

1.1. DENSIDAD APARENTE

La densidad aparente se calcula con la siguiente ecuación:

$$D_{s\text{aparente}} = 0,9975 \times A / (B + S - C)$$

Donde:

A: Masa en el aire de la muestra de ensayo secada al horno (g).

B: Masa del picnómetro lleno con agua (g).

C: Masa del picnómetro con la muestra y el agua hasta la marca de calibración (g).

S: Masa de la muestra saturada y superficialmente seca (g).

$$D_s = 0,9975 \times 498,51 / (662,11 + 500 - 972,59)$$

$$D_s = 2,62 \text{ g/cm}^3$$

1.2. DENSIDAD

La densidad se obtiene por medio de la siguiente formula:

$$D_{s \text{ sss}} = 0,9975 \times S / (B + S - C)$$

Donde:

A: Masa en el aire de la muestra de ensayo secada al horno (g).

B: Masa del picnómetro lleno con agua (g).

C: Masa del picnómetro con la muestra y el agua hasta la marca de calibración (g).

S: Masa de la muestra saturada y superficialmente seca (g).

$$D_s sss = 0,9975 \times 500 / (662,11 + 500 - 972,59)$$

$$D_s sss = 2,63 \text{ g/cm}^3$$

1.3. DENSIDAD NOMINAL

La densidad nominal se calcula por medio de la siguiente ecuación:

$$D_s \text{ nominal} = 0,9975 \times A / (B + A - C)$$

Donde:

A: Masa en el aire de la muestra de ensayo secada al horno (g).

B: Masa del picnómetro lleno con agua (g).

C: Masa del picnómetro con la muestra y el agua hasta la marca de calibración (g).

S: Masa de la muestra saturada y superficialmente seca (g).

$$D_s \text{ nominal} = 0,9975 \times 498,51 / (662,11 + 498,51 - 972,59)$$

$$D_s \text{ nominal} = 2,64 \text{ g/cm}^3$$

1.4. ABSORCIÓN

Para obtener el porcentaje de absorción se aplica la siguiente ecuación:

$$\text{Absorción (\%)} = [(S - A) / A] \times 100$$

Donde:

A: Masa en el aire de la muestra de ensayo secada al horno (g).

B: Masa en el aire de la muestra de ensayo saturada y superficialmente seca (g).

$$\text{Absorción (\%)} = [(500 - 498,51)/498,51] \times 100$$

$$\text{Absorción (\%)} = 0,30\%$$

ANEXO C. CARACTERIZACIÓN FÍSICA DEL CEMENTO

1. DENSIDAD DEL CEMENTO

Ilustración 20. Ensayo de densidad del cemento.



Fuente: Autores.

1.1. DENSIDAD

La densidad del cemento se obtiene por medio de la siguiente ecuación:

$$\rho(g/cm^3) = \frac{\text{Masa del cemento (g)}}{\text{Volumen desplazado (cm}^3\text{)}}$$

Donde:

$$\rho(g/cm^3) = \frac{65 \text{ g}}{22,4 \text{ cm}^3}$$

$$\rho(g/cm^3) = 2,9 \text{ g/cm}^3$$

1.2. DENSIDAD RELATIVA

La densidad relativa se debe calcular por medio de la siguiente ecuación:

$$\text{Densidad relativa} = \frac{\text{Densidad del cemento (g/cm}^3\text{)}}{\text{Densidad del agua a 4}^\circ\text{C (g/cm}^3\text{)}}$$

Donde:

$$\text{Densidad relativa} = \frac{2,9 \text{ g/cm}^3}{1 \text{ g/cm}^3}$$

$$\text{Densidad relativa} = 2,9$$

ANEXO D. ELABORACIÓN DE CILINDROS

Para la elaboración de los cilindros de la muestra patrón se toma el agregado grueso y el agregado fino y se mezclan hasta lograr una mezcla uniforme, luego se agrega el cemento y se vuelve a mezclar uniformemente, seguido a esto se añade el agua y se mezcla continuamente todos los materiales. En el caso de los cilindros con porcentaje de fibra de bagazo de caña de azúcar, a la mezcla uniforme de agregados y cemento se le adiciona la fibra con el porcentaje respectivo a cada diseño de mezcla, después se añade el agua y se mezcla hasta conseguir la mezcla homogénea.

Una vez se realizó la mezcla se verifica el asentamiento por medio del ensayo de Abrahams. Después se procede a la fundición de los cilindros en los moldes previamente lubricados. Luego de 24 horas se realiza el desencofrado de los cilindros y se colocan en una piscina de agua para su adecuada hidratación. En la siguiente ilustración se muestra la mezcla del concreto, la fundición y el desencofrado.

Ilustración 21. Elaboración de cilindros 1.



Fuente: Autores.

Ilustración 22. Elaboración de cilindros 2.



Fuente: Autores.

ANEXO E. CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE LOS CILINDROS


1. MUESTRA PATRÓN

A continuación, se muestran las tablas con los resultados del ensayo a compresión obtenidos de la muestra patrón.

1.1. MUESTRA PATRÓN CON 7 DÍAS DE EDAD

Tabla 32. Muestra patrón del cilindro número 1 con 7 días de edad.

Descripción	Muestra patrón			
	7	Cilindro N°		1
Edad (días)	1	2	3	Promedio
	10,14	10,00	10,16	10,10
Diámetro (cm)	1	2	3	Promedio
	20,30	20,27	20,24	20,27
Altura (cm)	3.720			
	4,00			
Peso de la muestra (g)	11.173,47			
Tipo de falla	1.983,15			
Carga máx. (kgf)				
Carga máx. (PSI)				



Fuente: Autores.

Tabla 33. Muestra patrón del cilindro número 2 con 7 días de edad.

Descripción	Muestra patrón			
	7	Cilindro N°		2
Edad (días)	1	2	3	Promedio
	10,12	10,08	10,04	10,08
Diámetro (cm)	1	2	3	Promedio
	20,40	20,41	20,10	20,30
Altura (cm)	3.720			
Peso de la muestra (g)	3,00			
Tipo de falla	10.234,69			
Carga máx. (kgf)	1.823,74			
Carga máx. (PSI)				



Fuente: Autores.

Tabla 34. Muestra patrón del cilindro número 3 con 7 días de edad.

Descripción	Muestra patrón			
	7	Cilindro N°		3
Edad (días)	1	2	3	Promedio
	10,20	10,10	10,21	10,17
Diámetro (cm)	1	2	3	Promedio
	20,50	20,38	20,41	20,43
Altura (cm)	3.780			
Peso de la muestra (g)	3,00			
Tipo de falla	10.489,80			
Carga máx. (kgf)	1.836,26			
Carga máx. (PSI)				



Fuente: Autores.

1.2. MUESTRA PATRÓN CON 14 DÍAS DE EDAD

Tabla 35. Muestra patrón del cilindro número 1 con 14 días de edad.

Descripción	Muestra patrón			
	14	Cilindro N°		1
Edad (días)	1	2	3	Promedio
	10,21	10,20	10,23	10,21
Diámetro (cm)	1	2	3	Promedio
	20,58	20,55	20,55	20,56
Altura (cm)	1	2	3	Promedio
	20,58	20,55	20,55	20,56
Peso de la muestra (g)	3.840			
Tipo de falla	3,00			
Carga máx. (kgf)	13.163,27			
Carga máx. (PSI)	2.284,75			



Fuente: Autores.

Tabla 36. Muestra patrón del cilindro número 2 con 14 días de edad.

Descripción	Muestra patrón			
	14	Cilindro N°		2
Edad (días)	1	2	3	Promedio
	10,20	10,19	10,18	10,19
Diámetro (cm)	1	2	3	Promedio
	20,35	20,45	20,46	20,42
Altura (cm)	1	2	3	Promedio
	20,35	20,45	20,46	20,42
Peso de la muestra (g)	3.780			
Tipo de falla	3,00			
Carga máx. (kgf)	12.193,88			
Carga máx. (PSI)	2.126,20			



Fuente: Autores.

Tabla 37. Muestra patrón del cilindro número 3 con 14 días de edad.

Descripción	Muestra patrón			
Edad (días)	14	Cilindro N°		3
Diámetro (cm)	1	2	3	Promedio
	10,18	10,17	10,16	10,17
Altura (cm)	1	2	3	Promedio
	20,46	20,46	20,52	20,48
Peso de la muestra (g)	3.780			
Tipo de falla	4			
Carga máx. (kgf)	11.826,53			
Carga máx. (PSI)	2.070,26			



Fuente: Autores.

1.3. MUESTRA PATRÓN CON 28 DÍAS DE EDAD

Tabla 38. Muestra patrón del cilindro número 1 con 28 días de edad.

Descripción	Muestra patrón			
Edad (días)	28	Cilindro N°		1
Diámetro (cm)	1	2	3	Promedio
	10,08	9,99	9,96	10,01
Altura (cm)	1	2	3	Promedio
	20,32	20,33	20,28	20,31
Peso de la muestra (g)	3.700			
Tipo de falla	2			
Carga máx. (kgf)	14.581,63			
Carga máx. (PSI)	2.634,80			



Fuente: Autores.

Tabla 39. Muestra patrón del cilindro número 2 con 28 días de edad.

Descripción	Muestra patrón			
Edad (días)	28	Cilindro N°		2
Diámetro (cm)	1	2	3	Promedio
	10,09	10,13	10,12	10,11
Altura (cm)	1	2	3	Promedio
	20,33	20,34	20,33	20,33
Peso de la muestra (g)	3.780			
Tipo de falla				
Carga máx. (kgf)	15.459,18			
Carga máx. (PSI)	2.736,58			



Fuente: Autores.

Tabla 40. Muestra patrón del cilindro número 3 con 28 días de edad.

Descripción	Muestra patrón			
Edad (días)	28	Cilindro N°		3
Diámetro (cm)	1	2	3	Promedio
	10,19	10,18	10,19	10,19
Altura (cm)	1	2	3	Promedio
	20,39	20,35	20,44	20,39
Peso de la muestra (g)	3.800			
Tipo de falla				
Carga máx. (kgf)	15.724,49			
Carga máx. (PSI)	2.743,61			



Fuente: Autores.


2. MUESTRA CON 0,4% DE FIBRA DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR

Las tablas que se encuentran a continuación muestran los resultados del ensayo a compresión obtenidos de la muestra con 0,4% de fibra de bagazo de caña de azúcar.

2.1. MUESTRA CON 0,4% DE FIBRA DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR CON 7 DÍAS DE EDAD

Tabla 41. Muestra con 0,4% de fibra del cilindro número 1 con 7 días de edad.


Descripción	Muestra con 0,4% de fibra			
Edad (días)	7	Cilindro N°		1
Diámetro (cm)	1	2	3	Promedio
	10,14	10,08	10,1	10,11
Altura (cm)	1	2	3	Promedio
	20,59	20,58	20,59	20,59
Peso de la muestra (g)	3760			
Tipo de falla	3			
Carga máx. (kgf)	10285,7			
Carga máx. (PSI)	1.823,17			



Fuente: Autores.

Tabla 42. Muestra con 0,4% de fibra del cilindro número 2 con 7 días de edad.


Descripción	Muestra con 0,4% de fibra			
Edad (días)	7	Cilindro N°		2
Diámetro (cm)	1	2	3	Promedio
	10,05	10,05	10,1	10,07
Altura (cm)	1	2	3	Promedio
	20,59	20,63	20,57	20,60
Peso de la muestra (g)	3740			
Tipo de falla	3			
Carga máx. (kgf)	11183,7			
Carga máx. (PSI)	1.998,13			



Fuente: Autores.

Tabla 43. Muestra con 0,4% de fibra del cilindro número 3 con 7 días de edad.

Descripción	Muestra con 0,4% de fibra			
Edad (días)	7	Cilindro N°		3
Diámetro (cm)	1	2	3	Promedio
	9,99	9,98	10,01	9,99
Altura (cm)	1	2	3	Promedio
	20,43	20,45	20,47	20,45
Peso de la muestra (g)	3640			
Tipo de falla	1			
Carga máx. (kgf)	8428,6			
Carga máx. (PSI)	1.528,07			




Fuente: Autores.

2.2. MUESTRA CON 0,4% DE FIBRA DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR CON 14 DÍAS DE EDAD

Tabla 44. Muestra con 0,4% de fibra del cilindro número 1 con 14 días de edad.


Descripción	Muestra con 0,4% de fibra			
Edad (días)	14	Cilindro N°		1
Diámetro (cm)	1	2	3	Promedio
	10,17	10,16	10,21	10,18
Altura (cm)	1	2	3	Promedio
	20,6	20,5	20,7	20,60
Peso de la muestra (g)	3780			
Tipo de falla	2			
Carga máx. (kgf)	11316,3			
Carga máx. (PSI)	1.977,06			



Fuente: Autores.

Tabla 45. Muestra con 0,4% de fibra del cilindro número 2 con 14 días de edad.


Descripción	Muestra con 0,4% de fibra			
Edad (días)	14	Cilindro N°		2
Diámetro (cm)	1	2	3	Promedio
	10,19	10,17	10,19	10,18
Altura (cm)	1	2	3	Promedio
	20,52	20,50	20,53	20,52
Peso de la muestra (g)	3.780			
Tipo de falla	3			
Carga máx. (kgf)	13000,0			
Carga máx. (PSI)	2.269,72			



Fuente: Autores.

Tabla 46. Muestra con 0,4% de fibra del cilindro número 3 con 14 días de edad.

Descripción	Muestra con 0,4% de fibra			
Edad (días)	14	Cilindro N°		3
Diámetro (cm)	1	2	3	Promedio
	10,02	10,03	10,03	10,03
Altura (cm)	1	2	3	Promedio
	20,40	20,35	20,39	20,38
Peso de la muestra (g)	2.700			
Tipo de falla	2,00			
Carga máx. (kgf)	12357,1			
Carga máx. (PSI)	2.225,43			




Fuente: Autores.

2.3. MUESTRA CON 0,4% DE FIBRA DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR CON 28 DÍAS DE EDAD

Tabla 47. Muestra con 0,4% de fibra del cilindro número 1 con 28 días de edad.


Descripción	Muestra con 0,4% de fibra			
	28	Cilindro N°		1
Edad (días)	1	2	3	Promedio
	10,18	10,10	10,16	10,15
Diámetro (cm)	1	2	3	Promedio
	20,49	20,40	20,46	20,45
Altura (cm)	3.760			
	5,00			
Peso de la muestra (g)	12.714,29			
Tipo de falla	2.235,91			
Carga máx. (kgf)				
Carga máx. (PSI)				



Fuente: Autores.

Tabla 48. Muestra con 0,4% de fibra del cilindro número 2 con 28 días de edad.

Descripción	Muestra con 0,4% de fibra			
	28	Cilindro N°		2
Edad (días)	1	2	3	Promedio
	10,10	10,14	10,15	10,13
Diámetro (cm)	1	2	3	Promedio
	20,35	20,30	20,28	20,31
Altura (cm)	3.750			
	3,00			
Peso de la muestra (g)	11.938,78			
Tipo de falla	2.106,45			
Carga máx. (kgf)				
Carga máx. (PSI)				



Fuente: Autores.

Tabla 49. Muestra con 0,4% de fibra del cilindro número 3 con 28 días de edad.

Descripción	Muestra con 0,4% de fibra			
	28	Cilindro N°		3
Edad (días)	1	2	3	Promedio
	10,06	10,13	10,17	10,12
Diámetro (cm)	1	2	3	Promedio
	20,37	20,42	20,38	20,39
Altura (cm)	3.770			
Peso de la muestra (g)	3,00			
Tipo de falla	13.846,94			
Carga máx. (kgf)	2.447,95			
Carga máx. (PSI)				



Fuente: Autores.


3. MUESTRA CON 0,6% DE FIBRA DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR

En seguida se muestran las tablas con los resultados del ensayo a compresión obtenidos de la muestra con 0,6% de fibra de bagazo de caña de azúcar.

3.1. MUESTRA CON 0,6% DE FIBRA DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR CON 7 DÍAS DE EDAD

Tabla 50. Muestra con 0,6% de fibra del cilindro número 1 con 7 días de edad.


Descripción	Muestra con 0,6% de fibra			
	7	Cilindro N°		1
Edad (días)	1	2	3	Promedio
	10,09	10,1	10,1	10,10
Diámetro (cm)	1	2	3	Promedio
	20,58	20,59	20,6	20,59
Altura (cm)	3820			
Peso de la muestra (g)	3			
Tipo de falla	6673,5			
Carga máx. (kgf)	1.185,24			
Carga máx. (PSI)				



Fuente: Autores.

Tabla 51. Muestra con 0,6% de fibra del cilindro número 2 con 7 días de edad.


Descripción	Muestra con 0,6% de fibra			
Edad (días)	7	Cilindro N°		2
Diámetro (cm)	1	2	3	Promedio
	9,96	9,99	9,99	9,98
Altura (cm)	1	2	3	Promedio
	20,49	20,49	20,43	20,47
Peso de la muestra (g)	3720			
Tipo de falla	2			
Carga máx. (kgf)	6387,8			
Carga máx. (PSI)	1.161,17			



Fuente: Autores.

Tabla 52. Muestra con 0,6% de fibra del cilindro número 3 con 7 días de edad.

Descripción	Muestra con 0,6% de fibra			
Edad (días)	7	Cilindro N°		3
Diámetro (cm)	1	2	3	Promedio
	10,05	10,05	10,06	10,05
Altura (cm)	1	2	3	Promedio
	20,43	20,42	20,42	20,42
Peso de la muestra (g)	3720			
Tipo de falla	3			
Carga máx. (kgf)	6836,7			
Carga máx. (PSI)	1.224,72			




Fuente: Autores.

3.2. MUESTRA CON 0,6% DE FIBRA DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR CON 14 DÍAS DE EDAD

Tabla 53. Muestra con 0,6% de fibra del cilindro número 1 con 14 días de edad.


Descripción	Muestra con 0,6% de fibra			
	14	Cilindro N°		1
Edad (días)	1	2	3	Promedio
	10,15	10,19	10,19	10,18
Diámetro (cm)	1	2	3	Promedio
	20,52	20,53	20,5	20,52
Altura (cm)	1	2	3	Promedio
	20,52	20,53	20,5	20,52
Peso de la muestra (g)	3820			
Tipo de falla	1			
Carga máx. (kgf)	10724,5			
Carga máx. (PSI)	1.874,89			



Fuente: Autores.

Tabla 54. Muestra con 0,6% de fibra del cilindro número 2 con 14 días de edad.


Descripción	Muestra con 0,6% de fibra			
	14	Cilindro N°		2
Edad (días)	1	2	3	Promedio
	10,1	10,12	10,18	10,13
Diámetro (cm)	1	2	3	Promedio
	20,49	20,44	20,37	20,43
Altura (cm)	1	2	3	Promedio
	20,49	20,44	20,37	20,43
Peso de la muestra (g)	3780			
Tipo de falla	3			
Carga máx. (kgf)	10581,6			
Carga máx. (PSI)	1.865,77			



Fuente: Autores.

Tabla 55. Muestra con 0,6% de fibra del cilindro número 3 con 14 días de edad.

Descripción	Muestra con 0,6% de fibra			
	14	Cilindro N°		3
Edad (días)	1	2	3	Promedio
	10,15	10,04	10,11	10,10
Diámetro (cm)	1	2	3	Promedio
	20,44	20,55	20,49	20,49
Altura (cm)	3780			
Peso de la muestra (g)	3			
Tipo de falla	10908,2			
Carga máx. (kgf)	1.936,06			
Carga máx. (PSI)				




Fuente: Autores.

3.3. MUESTRA CON 0,6% DE FIBRA DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR CON 28 DÍAS DE EDAD

Tabla 56. Muestra con 0,6% de fibra del cilindro número 1 con 28 días de edad.


Descripción	Muestra con 0,6% de fibra			
	28	Cilindro N°		1
Edad (días)	1	2	3	Promedio
	10,28	10,19	10,16	10,21
Diámetro (cm)	1	2	3	Promedio
	20,39	20,4	20,41	20,40
Altura (cm)	3840			
Peso de la muestra (g)	3			
Tipo de falla	15571,4			
Carga máx. (kgf)	2.704,50			
Carga máx. (PSI)				



Fuente: Autores.

Tabla 57. Muestra con 0,6% de fibra del cilindro número 2 con 28 días de edad.


Descripción	Muestra con 0,6% de fibra			
Edad (días)	28	Cilindro N°		2
Diámetro (cm)	1	2	3	Promedio
	10,01	10,03	10,03	10,02
Altura (cm)	1	2	3	Promedio
	20,38	20,44	20,37	20,40
Peso de la muestra (g)	3680			
Tipo de falla	3			
Carga máx. (kgf)	10234,7			
Carga máx. (PSI)	1.844,42			



Fuente: Autores.

Tabla 58. Muestra con 0,6% de fibra del cilindro número 3 con 28 días de edad.

Descripción	Muestra con 0,6% de fibra			
Edad (días)	28	Cilindro N°		3
Diámetro (cm)	1	2	3	Promedio
	10,03	10,05	10,03	10,04
Altura (cm)	1	2	3	Promedio
	20,34	20,44	20,41	20,40
Peso de la muestra (g)	3760			
Tipo de falla	3			
Carga máx. (kgf)	10489,8			
Carga máx. (PSI)	1.885,38			



Fuente: Autores.


4. MUESTRA CON 0,8% DE FIBRA DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR

A continuación, se exponen las tablas con los resultados del ensayo a compresión obtenidos de la muestra con 0,8% de fibra de bagazo de caña de azúcar.

4.1. MUESTRA CON 0,8% DE FIBRA DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR CON 7 DÍAS DE EDAD

Tabla 59. Muestra con 0,8% de fibra del cilindro número 1 con 7 días de edad.


Descripción	Muestra con 0,8% de fibra			
Edad (días)	7	Cilindro N°		1
Diámetro (cm)	1	2	3	Promedio
	10,05	10,07	10,13	10,08
Altura (cm)	1	2	3	Promedio
	20,51	20,51	20,51	20,51
Peso de la muestra (g)	3720			
Tipo de falla	3			
Carga máx. (kgf)	7551,0			
Carga máx. (PSI)	1.344,64			



Fuente: Autores.

Tabla 60. Muestra con 0,8% de fibra del cilindro número 2 con 7 días de edad.


Descripción	Muestra con 0,8% de fibra			
Edad (días)	7	Cilindro N°		2
Diámetro (cm)	1	2	3	Promedio
	10,19	10,15	10,14	10,16
Altura (cm)	1	2	3	Promedio
	20,47	20,47	20,47	20,47
Peso de la muestra (g)	3760			
Tipo de falla	3			
Carga máx. (kgf)	7551,0			
Carga máx. (PSI)	1.324,43			



Fuente: Autores.

Tabla 61. Muestra con 0,8% de fibra del cilindro número 3 con 7 días de edad.

Descripción	Muestra con 0,8% de fibra			
Edad (días)	7	Cilindro N°		3
Diámetro (cm)	1	2	3	Promedio
	10,06	10,09	10,08	10,08
Altura (cm)	1	2	3	Promedio
	20,44	20,44	20,44	20,44
Peso de la muestra (g)	3660			
Tipo de falla	1			
Carga máx. (kgf)	10489,8			
Carga máx. (PSI)	1.870,44			




Fuente: Autores.

4.2. MUESTRA CON 0,8% DE FIBRA DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR CON 14 DÍAS DE EDAD

Tabla 62. Muestra con 0,8% de fibra del cilindro número 1 con 14 días de edad.


Descripción	Muestra con 0,8% de fibra			
Edad (días)	14	Cilindro N°		1
Diámetro (cm)	1	2	3	Promedio
	10,15	10,17	10,17	10,16
Altura (cm)	1	2	3	Promedio
	20,55	20,4	20,55	20,50
Peso de la muestra (g)	3740			
Tipo de falla	3			
Carga máx. (kgf)	10510,2			
Carga máx. (PSI)	1.842,25			



Fuente: Autores.

Tabla 63. Muestra con 0,8% de fibra del cilindro número 2 con 14 días de edad.


Descripción	Muestra con 0,8% de fibra			
Edad (días)	14	Cilindro N°		2
Diámetro (cm)	1	2	3	Promedio
	10	10,07	10,16	10,08
Altura (cm)	1	2	3	Promedio
	20,5	20,55	20,3	20,45
Peso de la muestra (g)	3760			
Tipo de falla				
Carga máx. (kgf)	10928,6			
Carga máx. (PSI)	1.948,67			



Fuente: Autores.

Tabla 64. Muestra con 0,8% de fibra del cilindro número 3 con 14 días de edad.

Descripción	Muestra con 0,8% de fibra			
Edad (días)	14	Cilindro N°		3
Diámetro (cm)	1	2	3	Promedio
	10,23	10,23	10,2	10,22
Altura (cm)	1	2	3	Promedio
	20,42	20,5	20,58	20,50
Peso de la muestra (g)	3800			
Tipo de falla	5			
Carga máx. (kgf)	9785,7			
Carga máx. (PSI)	1.696,29			




Fuente: Autores.

4.3. MUESTRA CON 0,8% DE FIBRA DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR CON 28 DÍAS DE EDAD

Tabla 65. Muestra con 0,8% de fibra del cilindro número 1 con 28 días de edad.


Descripción	Muestra con 0,4% de fibra			
	28	Cilindro N°		1
Edad (días)	1	2	3	Promedio
	10,16	10,16	10,15	10,16
Diámetro (cm)	1	2	3	Promedio
	20,61	20,59	20,61	20,60
Altura (cm)	3.780			
Peso de la muestra (g)	3,00			
Tipo de falla	14.071,43			
Carga máx. (kgf)	2.469,71			
Carga máx. (PSI)				



Fuente: Autores.

Tabla 66. Muestra con 0,8% de fibra del cilindro número 2 con 28 días de edad.

Descripción	Muestra con 0,4% de fibra			
	28	Cilindro N°		2
Edad (días)	1	2	3	Promedio
	10,10	10,12	10,17	10,13
Diámetro (cm)	1	2	3	Promedio
	20,34	20,33	20,25	20,31
Altura (cm)	3.740			
Peso de la muestra (g)	2,00			
Tipo de falla	13.479,59			
Carga máx. (kgf)	2.378,31			
Carga máx. (PSI)				



Fuente: Autores.

Tabla 67. Muestra con 0,8% de fibra del cilindro número 3 con 28 días de edad.

Descripción	Muestra con 0,4% de fibra			
Edad (días)	28	Cilindro N°		3
Diámetro (cm)	1	2	3	Promedio
	10,07	10,14	10,16	10,12
Altura (cm)	1	2	3	Promedio
	20,38	20,41	20,37	20,39
Peso de la muestra (g)	3.780,00			
Tipo de falla	3,00			
Carga máx (kgf)	13.683,67			
Carga máx (PSI)	2.417,49			



Fuente: Autores.

